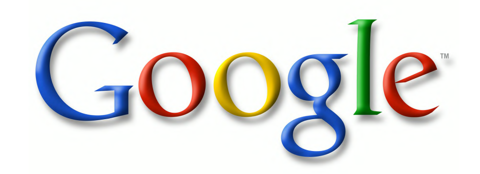


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

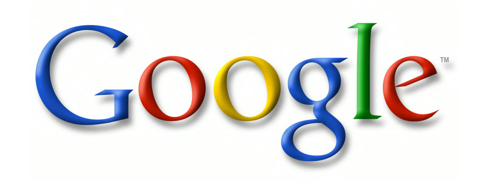
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

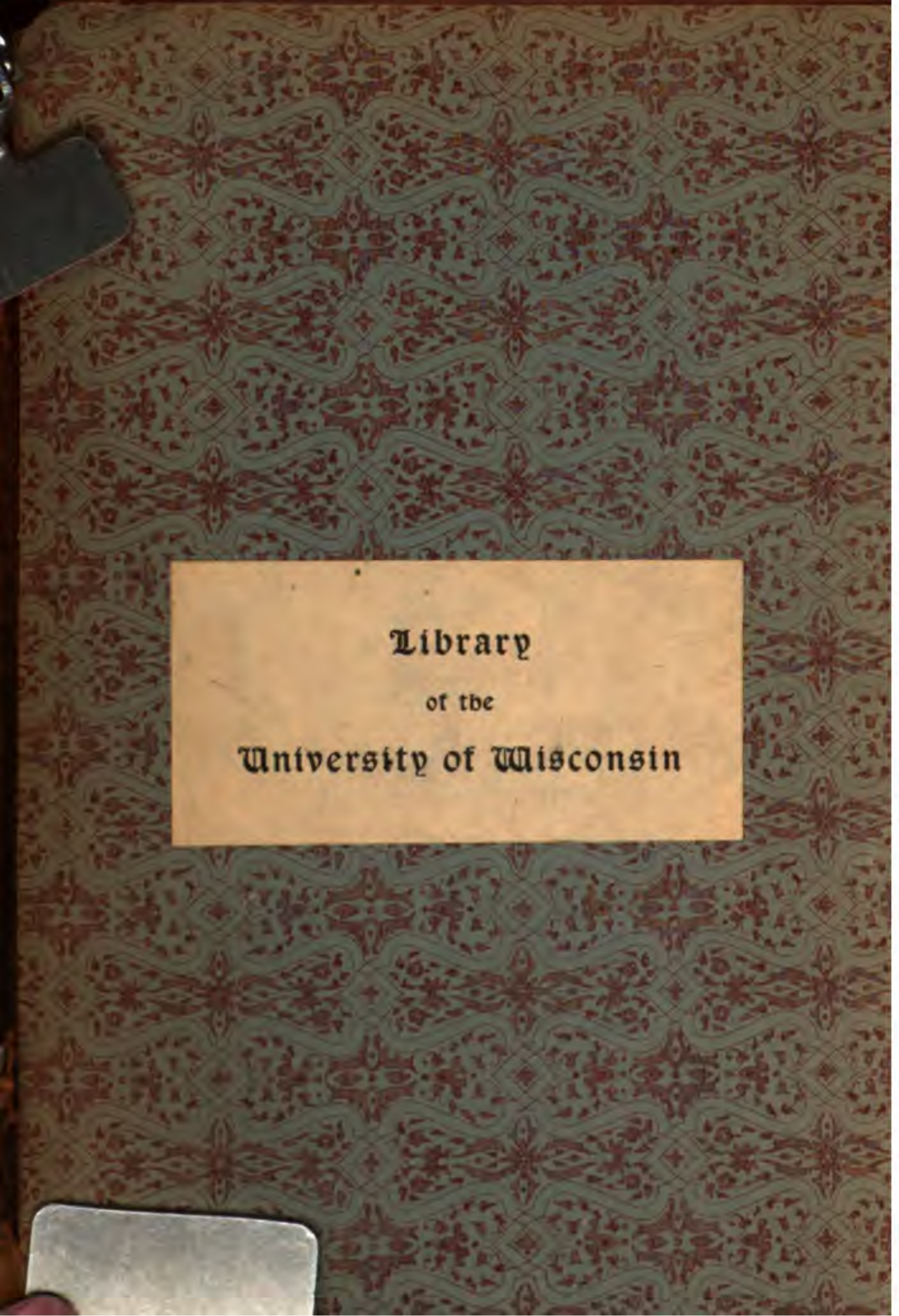
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


Library
of the
University of Wisconsin



ÉCLAIRAGE

BIBLIOTHÈQUE

DU

CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

VOLUMES PARUS

Mathématiques	8	50
Mécanique, Hydraulique, Thermodynamique	9	»
Physique et Chimie	8	50
Résistance des matériaux, I	15	»
Topographie — Instruments	12	»
Topographie — Méthodes	15	»
Maçonnerie	10	»
Bois et Métaux	8	»
Tracé et Terrassements	15	»
Droit civil	8	»
Droit administratif général	9	»
Droit commercial et industriel	10	»
Procédure civile et Droit pénal	8	»
Exécution des travaux publics	12	»
Organisation des services des travaux publics	8	»
Comptabilité des travaux publics	12	»
Rôle économique et social des voies de communication	10	»
Hygiène	7	50
Routes et Chemins vicinaux	12	»
Voie publique	12	»
Distribution d'eau	15	»
Egouts, Assainissement	18	»
Plantations, Jardins, Promenades	11	»
Eclairage	15	»
Construction et Voie	12	50
Locomotives et Matériel roulant	12	»
Exploitation technique des chemins de fer	16	»
Tramways et Automobiles	12	»
Contrôle des chemins de fer	12	»
Géologie et Minéralogie appliquées	12	»
Exploitation des mines	9	»
Chaudières à vapeur	12	»
Machines à vapeur	15	»
Machines hydrauliques	10	»
Législation et Contrôle des mines	12	»
Législation et Contrôle des appareils à vapeur	8	»
Architecture	15	»
Charpente et Couverture	10	»
Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Peinture, Vitrerie	10	»
Fumisterie, Chauffage et Ventilation	10	»
Devis et Evaluations	15	»
Agriculture	9	»
Hydraulique agricole, I	12	»
— II	15	»
— III	15	»
Génie rural	10	»
Electricité — Théorie	12	»
Electricité — Applications	12	»
Photographie, Reproduction des dessins	9	»
Génie	12	»

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ÉCLAIRAGE

HUILES, ALCOOL, GAZ, ÉLECTRICITÉ

PHOTOMÉTRIE

PAR

L. GALINE

Ingénieur des Arts et Manufactures
Inspecteur
à la Compagnie des Chemins de fer
du Nord.

B. SAINT-PAUL

Conducteur du Service Municipal de Paris
Ex-Chef de Service à l'Eclairage de Paris
Membre du Jury
de l'Exposition universelle de 1900

DEUXIÈME ÉDITION

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1904

94345 16 SJ G13 2 162256

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES

DE MESSIEURS LES MINISTRES DES TRAVAUX PUBLICS
DE L'AGRICULTURE
DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE
DE L'INTÉRIEUR, DES COLONIES
DE LA JUSTICE

Comité de patronage

BARTHOU	Ancien Ministre des Travaux publics et de l'Intérieur, Membre de la Chambre des députés.
BECHMANN	Directeur des eaux et de l'assainissement de Paris, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
BOREUX	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de la voie publique et de l'éclairage de Paris.
BOSRAMIER	Conducteur principal des Ponts et Chaussées en retraite.
BOUQUET	Directeur du personnel et de l'enseignement technique au Ministère du Commerce et de l'Industrie.
BOURRAT	Conducteur des Ponts et Chaussées, Membre de la Chambre des députés.
BOUVARD	Directeur administratif des services d'architecture, des promenades et plantations de la ville de Paris.
COLSON	Conseiller d'Etat, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
COMTE (J.)	Ancien directeur des Bâtiments civils et des Palais nationaux.
DEBAUVE	Inspecteur de l'Ecole des Ponts et Chaussées, auteur du *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées*.
DEFRANCE	Directeur des affaires départementales à la Préfecture de la Seine.
DELECROIX	Avocat, Docteur en droit, Directeur de la *Revue de la Législation des Mines*.

Le **Directeur** de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.
Le **Directeur** de l'Ecole nationale supérieure des Mines.

DONIOL	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Membre du Conseil de la Légion d'honneur.
BOUSQUET (du)	Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Cie des Chemins de fer du Nord.
EYROLLES	Directeur de l'Ecole spéciale de Travaux publics.
FLAMANT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
GAUTHIER (de l'Aude)	Sénateur.
GERVAIS	Membre de la Chambre des députés.

GRILLOT	Président honoraire de la Société des Conducteurs Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.
GUILLAIN	Ancien Ministre des Colonies, Membre de la Chambre des députés.
GUYOT-DESSAIGNE	Ancien Ministre de la Justice et des Travaux publics, Membre de la Chambre des députés.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE	Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines en retraite.
HENRY (E.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Président du Conseil de la Vicinalité au Ministère de l'Intérieur.
HUET	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien Directeur administratif des Travaux de Paris.
LAUSSEDAT (le Colonel)	Membre de l'Institut, Directeur honoraire du Conservatoire national des Arts et Métiers.
LE BERQUIER	Avocat à la Cour d'appel de Paris.
LE ROUX	Ancien Directeur des Affaires départementales à la Préfecture de la Seine.
LOUIS MARTIN	Avocat, Professeur libre de droit, Membre de la Chambre des députés.
MAGNIN	Ancien Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Finances, Sénateur inamovible.
MARTINIE	Contrôleur général de l'Administration de l'Armée, Ancien Président de la Société de Topographie de France.
PHILIPPE	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur honoraire de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.
PILLET	Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.
PIOT	Sénateur, ancien Entrepreneur de Travaux publics.

Le **Président** de l'Association philotechnique.

Le **Président** de l'Association polytechnique.

Le **Président** de la Société des Anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers.

Le **Président** de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.

Le **Président** de la Société des Ingénieurs civils de France.

Le **Président** de la Société des Ingénieurs coloniaux.

Le **Président** de la Société de Topographie de France.

QUENNEC	Directeur de l'Octroi à la Préfecture de la Seine.
RÉSAL	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.
ROUCHÉ	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
SANGUET	Président de la Société de Topographie parcellaire de France.
TISSERAND	Conseiller-maître à la Cour des Comptes.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

Comité de rédaction

SIÈGE : 46, QUAI DE L'HÔTEL-DE-VILLE

Bureau

Président :

JOLIBOIS Conducteur des Ponts et Chaussées, Agent voyer cantonal (Service ordinaire et vicinal de la Seine), Président de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines, Membre du Comité de la Société des Ingénieurs coloniaux, des Sociétés des Ingénieurs civils de France, des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers, de Topographie de France, etc., Professeur à l'Association philotechnique.

Secrétaire Général :

BONNAL Ingénieur civil, Secrétaire de la Direction des Tramways à vapeur du département de l'Aude, Membre de la Société des Ingénieurs coloniaux, Professeur à l'Association philotechnique.

Vice-Présidents :

DACREMONT Sous-inspecteur de l'Assainissement, Service municipal.

DARDART Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal de la Seine).

FALCOU Chef de bureau à la Préfecture de la Seine, Chef du cabinet du Directeur administratif des services d'architecture, des promenades et plantations.

VIDAL Inspecteur particulier de l'Exploitation commerciale des Chemins de fer P.-L.-M.

Secrétaires :

BONDU Commissaire de surveillance administrative des chemins de fer (P.-L.-M.), professeur à l'Association philomatique.

CANAL Contrôleur-Comptable des Chemins de fer (Orléans).

DEJUST Ingénieur municipal (Service des Eaux), Ingénieur des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École centrale des Arts et Manufactures.

DIÉBOLD Sous-inspecteur de l'Assainissement, Service municipal.

Membres du Comité :

AUCAMUS	Ingénieur des Arts et Manufactures, chef d'atelier aux chemins de fer du Nord.
DARIÈS	Ingénieur Municipal (Service des Eaux), Licencié ès Sciences, Professeur à l'Association philotechnique et à l'Ecole spéciale de Travaux publics.
COLAS	Sous-ingénieur aux Chemins de fer de l'Etat.
DECRESSAIN	Contrôleur principal des Mines (Service des appareils à vapeur), Professeur à l'Ecole d'Horlogerie.
GRIMAUD	Ingénieur chef du service des Travaux publics de la Martinique.
HALLOUIN	Inspecteur principal de l'Exploitation commerciale des Chemins de fer de l'Etat.
LANAVE	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, chef de section à la Cie du Chemin de fer métropolitain.
LÉVY-SALVADOR	Ingénieur du Service technique de l'Hydraulique agricole, au Ministère de l'Agriculture.
MALETTE (G.)	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Agent voyer cantonal (Service ordinaire et vicinal de la Seine).
PRADÈS	Sous-chef de bureau au Ministère de l'Agriculture, Membre du Conseil d'administration de l'Association philotechnique.
PRÉVOT	Conducteur faisant fonctions d'Ingenieur des Ponts et Chaussées (Service du nivellement général de la France).
REBOUL	Contrôleur principal des Mines (Service des appareils à vapeur).
ROUSSEAU (Ph.)	Secrétaire général de la Société des Ingénieurs coloniaux.
ROUX	Conducteur principal faisant fonctions d'Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service ordinaire du Puy-de-Dôme).
SIMONET	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Métropolitain).
SAINT-PAUL	Conducteur municipal, Secrétaire adjoint de la Société de Topographie de France, Professeur à l'Association polytechnique.
WÉRY	Ingénieur sanitaire.

ÉCLAIRAGE

CHAPITRE I

ÉCLAIRAGE A L'HUILE VÉGÉTALE

§ 1. — Fabrication

1. Graines oléagineuses. — Le nombre des plantes oléagineuses est assez considérable, mais quelques-unes seulement fournissent de l'huile propre à l'éclairage. Parmi les plus employées, il convient de citer l'huile de colza et de navette, accidentellement celles d'œillette, de chanvre, de coton.

Le *colza* est une variété de chou assez cultivé dans le Nord de la France. La graine, ronde, noire et lisse, est seule utilisée à la fabrication de l'huile; il y en a un assez grand nombre d'espèces. Les plus importantes sont : le colza guzerat et le colza brun des Indes. La plante se sème en août; la récolte a lieu en juillet et atteint 30 à 40 hectolitres par hectare.

La graine du chou-rave ou du navet donne l'huile de *navette*. On laisse la plante se développer pour que tous les éléments importants s'accumulent dans la graine, plus claire que celle du colza et tirant sur le jaune. On peut faire deux semis au printemps ou en automne; ce dernier est préférable à cause du rendement. La majeure partie de ces graines est fournie par les Indes et la vallée du Danube.

Les terrains maigres conviennent particulièrement à ces plantes oléagineuses; un temps sec leur est favorable, la pluie trop abondante les empêche de mûrir. Les graines,

séparées de la plante, sont conservées en tas ; il faut avoir soin de les agiter assez souvent.

L'huile est renfermée dans l'embryon, ou germe; une enveloppe en cellulose la protège de l'air et assure sa conservation ; à l'intérieur, le liquide est contenu dans de petites cellules qu'il faut briser ; une partie s'échappe directement par égouttage, l'autre s'extrait par pression, elle est alors mélangée à d'autres substances qui la troublent. Plus la graine est sèche, plus l'huile est pure. Pour 1/3 ou 2/5 d'huile, la graine renferme 1/4 à 1/3 de substances albuminoïdes, 1/2 à 1/5 de matières sucrées, et le reste en cendres et eau.

2. Extraction par compression. — *Broyage.* — La fabrication de l'huile se fait dans des moulins spéciaux, ou *tordoirs*. Cette industrie, très ancienne, n'a pas tardé à employer la vapeur comme force motrice.

On évalue généralement à 15 ou 16 chevaux la puissance nécessaire pour produire 3.000 kilogrammes d'huile en vingt-quatre heures, soit 8 à 9.000 kilogrammes de graines traitées. Quelques usines très importantes arrivent à 100 chevaux correspondant à une fabrication de 25.000 kilogrammes d'huile lampante en vingt-quatre heures, soit 60.000 kilogrammes de matière première.

Les graines, avant de subir toute préparation, sont débarrassées des corps étrangers ; ce nettoyage se fait au tarare ordinaire. L'extraction de l'huile par compression comporte deux opérations : 1° bris de l'enveloppe des cellules ; 2° compression pour chasser la partie liquide. Un seul traitement ne suffit pas pour extraire tout le liquide, il faut répéter plusieurs fois la série des opérations ; le premier tour porte le nom de *froissage*, les autres celui de *rebat*.

Pour écraser la graine, on employait primitivement des pilons de 50 kilogrammes environ tombant de $0^m,60$. Le concassage est obtenu actuellement en faisant passer la graine entre deux cylindres inégaux en acier disposés horizontalement, ayant, le petit $0^m,30$ de diamètre, le grand $0^m,75$; leur longueur est de $0^m,40$. Ils tournent avec des vitesses inégales voisines de 60 tours par minute ; le plus souvent le petit cylindre est entraîné par frottement. L'écartement entre les

génératrices de contact est variable, les paliers du petit cylindre pouvant se déplacer horizontalement. On règle ainsi la pression différente avec chaque variété de graines. Avec une puissance de 2ch,5 à 2ch,75, suivant l'espèce de graines, on arrive à traiter 5 à 6 hectolitres en dix heures.

Un autre broyeur très répandu est le *moulin de broyage*, ou *tordoir*. Il est formé par deux meules verticales en granit d'environ 2m,25 de diamètre sur 0m,40 de large, pesant 7 à 8.000 kilogrammes. Ces deux meules, ou valseuses, tournent, à raison de 20 à 25 tours par minute, autour d'un axe vertical, à des distances un peu différentes. L'arbre vertical, en bois ou en fonte, qui entraîne les meules dans son mouvement de rotation, est muni d'un renflement percé à jour dans lequel passe l'arbre horizontal des meules dont le diamètre varie de 60 à 90 millimètres. Cet assemblage permet à ces dernières de se soulever lorsque la résistance à vaincre est par trop considérable.

Les meules se déplacent sur une meule dormante ou lit de 1m,75 à 2 mètres de diamètre, d'une épaisseur de 40 millimètres et placée à 0m,50 du sol. Le plus souvent, le dessus de la sole est formé par une plaque en fonte. Pour ramener constamment la matière sous les meules, entre ces dernières et tournant avec elles, on installe deux racles supportées par un cadre métallique.

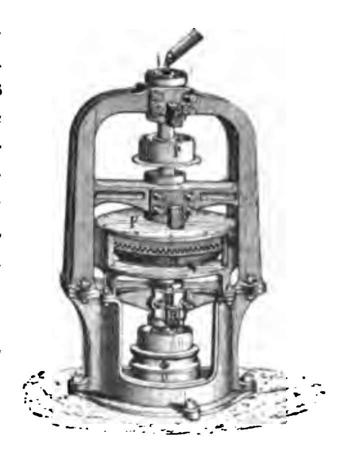


Fig. 1. — Broyeur Hignette.

Lorsque l'opération est terminée, au bout d'une demi-heure environ pour 100 kilogrammes de graines, ayant nécessité une puissance de 2ch,75, on retire la pâte en ouvrant une trappe sur le côté de la meule dormante ; un rabot ramasseur, qu'on abaisse alors, la fait tomber par cette ouverture.

On emploie également avec succès le *broyeur à force centrifuge Hignette* (*fig.* 1). Il est constitué par deux plateaux horizontaux N de forme tronconique et tournant en sens inverse à des vitesses différentes dans des paliers G et R. Chaque plateau est pourvu de broches concentriques disposées de telle façon que celles d'un plateau correspondent aux intervalles des broches de l'autre. Il y a un arbre spécial avec poulie pour chaque plateau; celui du plateau supérieur est creux, formant ainsi canal d'amenée I de la graine. Dans le mouvement de rotation de l'appareil, la graine est chassée par la force centrifuge du centre vers la périphérie et se brise au contact des broches. La pâte est retirée par une vanne latérale ménagée dans une cuve en tôle entourant les plateaux et munie d'un couvercle F. Avec une puissance de 2ch,5 on traite 100 kilogrammes de graines à l'heure.

Chauffage. — Avant d'être soumise à la compression, la pâte doit être chauffée. L'huile, en effet, se trouve mélangée à des substances comme l'albumine et la légumine qu'il suffit de coaguler par la chaleur pour s'en débarrasser. L'opération se fait dans des chauffoirs de froissage. Ces appareils, en fonte ou en cuivre, peuvent être chauffés à feu nu ou à la vapeur. La température à laquelle doit être portée la pâte varie de 50° à 55°.

Les chauffoirs à *feu nu* sont formés par une table horizontale de 2 millimètres d'épaisseur environ placée au-dessus du foyer. La pâte est maintenue latéralement par un cercle mobile en tôle; un agitateur mécanique, ou *mouvet*, monté sur un arbre vertical, permet de la remuer pendant le chauffage; le nombre de rotations est de 30 à la minute. Pour retirer la pâte, il suffit de faire glisser le cercle de manière à la faire tomber dans une trémie sur le devant du four.

Pour le chauffage à la *vapeur* la pâte est enfermée dans un réservoir cylindrique à double paroi. La vapeur est amenée à la partie inférieure du cylindre et se répand ensuite entre les parois. Il faut compter 1 mètre carré de surface de chauffe pour 100 kilogrammes de matière broyée; la consommation de vapeur à 110° est alors de 13 kilogrammes

Enfin, depuis quelque temps, on se sert d'un système de chauffage continu dû à M. Villon. L'appareil (*fig.* 2) est constitué par une auge demi-cylindrique A disposée dans une caisse à double fond B, C. Elle est traversée dans le sens de la longueur par une vis d'Archimède P ; entre les deux parois du fond, on fait circuler la vapeur. Le fonctionnement est fort simple : la pâte, introduite à l'une des extrémités de l'auge E par une trémie, est prise par la vis qui tourne à raison de un tour à la minute, et transportée à l'autre extrémité S munie d'une vanne de décharge. D'après M. Villon, avec une vis de 0m,40 de diamètre d'un pas de 0m,30, on peut chauffer par heure 3 hectolitres à 60°. Pour 100 kilogrammes de colza, la consommation de vapeur à 110° est de 10 kilogrammes.

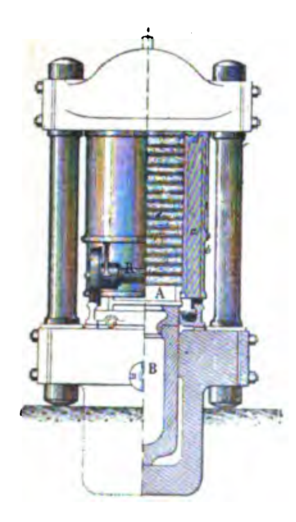


Fig. 2. — Chauffage continu à la vapeur.

Presses. — A sa sortie du chauffoir la pâte est reçue dans une sorte de serviette en crin ou fil. Un cadre métallique entoure la matière enfermée dans cette enveloppe filtrante ; chaque cadre en contient 15 à 16 kilogrammes ; les sacs (*scourtins* ou *étreindelles*) sont alors soumis à l'action des presses. En général, chaque presse est en deux parties comportant chacune la moitié des cadres; pendant qu'une moitié est sous pression, un ouvrier prépare l'autre ; le travail est ainsi continu. Cette première compression, dont l'énergie croît de 50 à 200 atmosphères, donne l'huile de première qualité.

La pâte n'ayant abandonné qu'une partie de son huile, on lui fait subir à nouveau la série des opérations précédentes ; ce second traitement constitue le *rebat*. Les graines, agglomérées sous forme de tourteaux, subissent un broyage dans une machine composée de deux cylindres dentés, puis elles repassent sous le tordoir et sont renvoyées au chauffoir ; toutefois la durée de ce chauffage n'est plus que la moitié de celle du froissage. On les soumet ensuite à une nouvelle compression.

L'opération du rebat peut se répéter plusieurs fois, mais l'action des presses doit être de plus en plus énergique au fur et à mesure que la pâte s'épuise. Au début, on employait les presses à coins; elles ont été remplacées depuis par la presse hydraulique avec une modification spéciale pour le traitement des huiles, qui consiste à remplacer le plateau ordinaire par une série de plateaux superposés. Chaque plateau forme piston pour celui du dessus, et matrice pour le plateau inférieur. Les sacs sont placés sur les pistons; ils sont retenus latéralement par les parois de la matrice. Ces parois sont inclinées de manière à pouvoir retirer facilement les sacs écrasés en les poussant par le plus petit côté. Quand on enlève la pression, tous les plateaux descendent l'un après l'autre; ils sont arrêtés par des clavettes en fer méplat engagées dans des mortaises pratiquées sur les montants de la presse. On maintient ainsi l'écartement nécessaire, tout en assurant le guidage des plateaux. La pression par centimètre carré varie de 150 à 200 et 300 kilogrammes (Voir *Machines hydrauliques*).



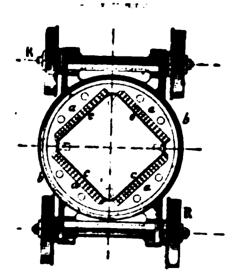


Fig. 3. — Compresseur Tollin.

Le liquide provenant de ces diverses opérations est mélangé et constitue l'huile de deuxième qualité. Le rebat ne donne guère environ que le tiers de la quantité d'huile obtenue au froissage.

On a imaginé d'autres appareils de pression, parmi lesquels il convient de citer le *compresseur Tollin* (*fig.* 3). Il comporte quatre segments en fonte *a*, rabotés sur leur face plane interne et

tournés extérieurement. Ils sont entourés d'un manchon *b* en acier coulé alésé intérieurement. Sur les faces planes on dispose une série de barrettes en acier doux, formant surface filtrante. A l'intérieur de ce parallélipipède dans lequel on introduit la pâte, se meut un piston compresseur rectangulaire A actionné directement par le piston de la presse B. Le compresseur, monté sur un chariot R, se déplace sous des presses différentes dont l'action peut varier de 80 à 500 kilogrammes par centimètre carré. Une d'elles, dite presse de préparation, sert au chargement et au déchargement du compresseur. La pâte broyée est disposée en couches horizontales séparées par une étoffe filtrante et une plaque de tôle. On peut éviter l'emploi du chauffoir en faisant circuler autour du manchon, muni alors d'une chemise en tôle, un jet de vapeur. Cet appareil est très avantageux au point de vue de la rapidité des opérations; de plus, il supprime l'emploi des scourtins. Il est vrai que les filtres-presses, dont l'usage commence à se répandre, ont aussi cet avantage qui entraîne une économie importante.

3. **Extraction par les dissolvants.** — Certaines substances volatiles, comme le sulfure de carbone, l'éther de pétrole, la benzine, dissolvent l'huile des graines sans toucher aux autres matières. On comprend aisément le procédé de fabrication qui en résulte : faire absorber l'huile en mélangeant le dissolvant à la graine, séparer le liquide des matières solides et, finalement, chauffer le liquide pour évaporer le dissolvant que l'on recueillera en vue d'une seconde opération. On obtient ainsi de l'huile parfaitement pure.

L'appareil se compose (*fig.* 4) d'un vase A à double fond dans lequel on met la graine ou les tourteaux. Du réservoir R on fait couler par le tube L le sulfure de carbone. La vapeur arrive par H dans le double fond et porte la masse à l'ébullition. Les vapeurs produites se dégagent par K pour se condenser dans le serpentin B et tomber dans le réservoir R. Le liquide chaud de A descend par *a* dans le récipient C chauffé également par un serpentin de vapeur S arrivant par *b* dont l'eau condensée s'écoule par *d*. Du récipient C le sulfure de carbone vaporisé se rend par M dans le

serpentin B. On peut injecter directement de la vapeur dans le liquide par l'orifice O pour chasser les dernières traces du dissolvant. On retire le liquide gras par le robinet U. Le dissolvant condensé en B se recueille en R, d'où il pourra servir à une seconde opération ; R est muni d'un trou d'homme, d'un tube de niveau et d'un robinet d'introduction. La matière épuisée s'enlève par le trou de vidange D.

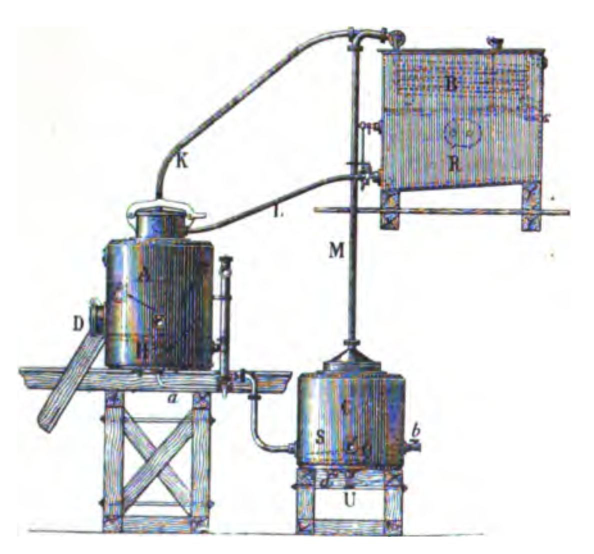


Fig. 1. — Extraction par les dissolvants.

Dans le cas des huiles lampantes ce procédé ne s'applique pas complètement. Il est en effet très difficile de réduire la graine en poudre assez fine pour en extraire toute l'huile. On emploie alors un moyen mixte qui consiste à faire subir à la graine la préparation ordinaire, de manière à obtenir l'huile de première pression, puis à traiter les tourteaux par le sulfure de carbone. On arrive ainsi à retirer toute l'hui à 1 ou 2 0/0 près; les cellules ont été tellement broyées qu'on a alors le mélange intime si difficile à avoir au début. L'huile ainsi préparée est très pure, bien qu'un peu plus colorée.

On peut parvenir à avoir des tourteaux indemnes de tout goût et de toute odeur à la condition d'enlever tout le sulfure de carbone.

4. Épuration. — L'huile n'est pas livrée directement au commerce ; elle renferme des corps étrangers dont il faut la débarrasser. Après un premier lavage à l'eau, favorisé par une agitation continue, l'huile décantée est soumise à l'action de l'acide sulfurique dans la proportion de 5 à 0,5 0/0, suivant que l'on opère à froid ou à chaud. Le mélange est agité vivement. Au début, quand on verse l'acide lentement par fraction, le liquide prend une couleur verdâtre, puis il devient brun pour finir noir. Le traitement à chaud doit se faire à une température de 60 à 70° ; il a lieu dans des cuves en bois revêtues de plomb. Lorsque la couleur noire apparaît, on laisse reposer le liquide pendant vingt-quatre heures, puis on introduit par hectolitre d'huile 30 litres d'eau tiède. On agite pendant une demi-heure et on fait écouler le mélange dans un endroit où la température est d'environ 20 à 25°. Au bout de six à huit jours, on observe que la masse est partagée en trois couches : la première est de l'huile pure qu'on soumet ultérieurement au filtrage ; la seconde est formée par un liquide impur que l'on conserve à part et dont on finit par retirer une certaine quantité d'huile ; la troisième couche ne contient guère que de l'eau chargée d'acide sulfurique et de la matière mucilagineuse carbonisée.

Filtrage. — Les filtres sont constitués par de grands réservoirs cylindriques de 7 à 8 mètres de profondeur. Vers le milieu, ils sont munis d'un plancher à claire-voie sur lequel repose de la laine recouverte de sciure de bois. L'huile se filtre en traversant ces diverses substances. La durée de l'opération est très variable, elle dépend de la plus ou moins grande compression de la sciure ; on compte en moyenne 200 kilogrammes d'huile par mètre cube de sciure.

Blanchiment. — Le blanchiment peut être réalisé par la lumière : dans un bassin en tôle de 4 mètres de long sur 3 de large et 0,30 de hauteur, on verse de l'eau jusqu'aux deux tiers de la hauteur : cette eau doit pouvoir être

échauffée par un tuyau de vapeur ; on verse ensuite de l'huile sur une hauteur de 0,05 ; après une quinzaine d'heures la décoloration est achevée.

On peut encore obtenir le blanchiment des huiles par la chaleur ; on emploie à cet effet des cuves portant un agitateur mécanique. Ces cuves sont chauffées à 110° ; puis le chauffage est remplacé par une injection de vapeur à 2 atmosphères pendant dix heures environ.

5. Propriétés. — L'huile épurée est un liquide jaunâtre, transparent, onctueux au toucher et sans saveur. Sa densité varie avec son origine ; celle du colza pèse de 0,9136 à 0,9147, et l'huile de navette atteint 0,9178. Elle se solidifie à basse température : — 6° pour l'huile de colza, — 3°,7 pour celle de navette. Fortement chauffée, elle reste fixe, jusqu'à une température voisine de 300° ; au delà, elle se décompose en donnant des carbures éclairants. Elle est très dilatable par la chaleur, ce qui explique le coulage des fûts

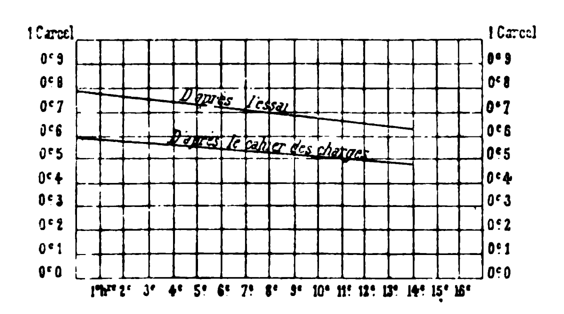


Fig. 5. — Essai photométrique d'une huile.

pendant l'été. Le coefficient de dilatation de l'huile de colza est 1/1120.

Au contact de l'air, elle en absorbe l'oxygène, qui diminue sa fluidité et la rancit ; elle prend alors une couleur verdâtre. Insoluble dans l'eau, elle s'unit avec facilité aux essences et aux autres huiles de nature différente, formant avec elles des mélanges intimes.

Les caractères physiques sont trop peu différents d'une huile à l'autre pour pouvoir en fixer la nature, d'autant plus qu'on les mélange toujours entre elles. Plusieurs réactifs ont été essayés (permanganate de potasse, acide sulfurique), mais sans grand succès. En ce qui concerne l'éclairage, on se contente de déterminer la densité, puis le pouvoir éclairant au photomètre. L'huile essayée dans une lampe spéciale doit donner à des intervalles déterminés une puissance lumineuse fixée par la pratique, comme l'indique la courbe de la figure 5, se rapportant à l'essai d'une lampe bec rond de la Compagnie du chemin de fer du Nord. A l'essai, elle donne $0^{\text{carc}},8$; au bout de dix heures, $0^{\text{carc}},68$, et finalement $0^{\text{carc}},63$; la densité est de 0,913. Il suffit alors de comparer ces résultats à ceux fournis par l'huile type.

6. Résidus. — Les résidus de la fabrication sont au nombre de trois : les *tourteaux*, les *fèces* et les *eaux acides*.

Les *tourteaux*, formés par l'enveloppe des cellules des graines débarrassées de tout liquide, contiennent deux sortes de produits : les uns propres à l'alimentation des animaux, les autres à la culture comme engrais, d'où deux emplois distincts. Toutefois on a remarqué, avec confirmation par l'analyse chimique, que les éléments propres à l'engrais ne convenaient pas à l'alimentation, mais qu'on les retrouvait presque intacts dans le fumier. Il en résulte que, pour utiliser parfaitement les tourteaux, il faudrait les donner d'abord aux bestiaux; malheureusement quelques-uns d'entre eux sont toxiques : ceux de colza, par exemple, peuvent renfermer de l'essence de moutarde.

La quantité de tourteaux obtenus dans la fabrication est assez variable et dépend de la nature des graines. Un hectolitre de colza, pesant 68 à 70 kilogrammes, donne 24 à 26 kilogrammes d'huile et 30 à 32 kilogrammes de tourteaux. La navette pèse un peu moins : 1 hectolitre, d'un poids de 60 à 70 kilogrammes, donne 20 à 26 kilogrammes d'huile. Les tourteaux de colza sont caractérisés par leur couleur jaune ou verte : ils servent surtout d'engrais; ceux de navette, au contraire, sont employés pour la nourriture des vaches laitières. Les tourteaux provenant du traitement au sulfure

de carbone ne sont dépourvus de goût et d'odeur que lorsque le traitement a été complet.

Les *fèces* constituent un résidu liquide provenant de l'épuration; d'après sa densité, il est compris entre l'huile et l'acide, on l'emploie particulièrement à la fabrication des savons.

Les *eaux acides*, après avoir servi à plusieurs épurations, sont utilisées pour le décapage des tôles et la fabrication de la couperose.

§ 2. — Lampes a huile

7. Lampes à bec plat. — L'éclairage à l'huile étant très ancien, on comprend aisément que le nombre des appareils soit considérable; mais de toutes ces lampes bien peu subsistent, appelées peut-être à disparaître prochainement. En effet, la consommation de l'huile va sans cesse en décroissant, et de 1860 à 1896 elle a baissé d'un tiers, par suite de la concurrence que lui font les autres systèmes d'éclairage.

L'appareil le plus simple, encore usité, consiste en un réservoir en fer-blanc dans lequel plonge une mèche plate tressée. L'alimentation se fait par capillarité. Cette mèche est guidée par une gaine métallique qui se visse sur le réservoir; un pignon extérieur sert à la remonter au fur et à mesure de son usure. La flamme, fort peu résistante au vent, est enfermée dans une lanterne.

Quelques Compagnies de chemin de fer emploient encore les becs plats (*fig.* 6). Le réservoir A, en forme d'anneau, est alors placé au-dessus du bec; l'huile arrive à ce dernier d'une manière intermittente par deux branches coudées B. Elle s'écoule par son propre poids à mesure que l'air pénètre dans le réservoir n'ayant d'autre orifice que le bec C; de là l'obligation, pour maintenir la pression à peu près constante, de donner une faible hauteur au réservoir,

Souvent une seule des branches sert à l'alimentation, l'autre B_1, munie d'un bouchon D, étant réservée alors au remplissage du réservoir que l'on renverse pour cette opération. La mèche est simplement montée sur un porte-

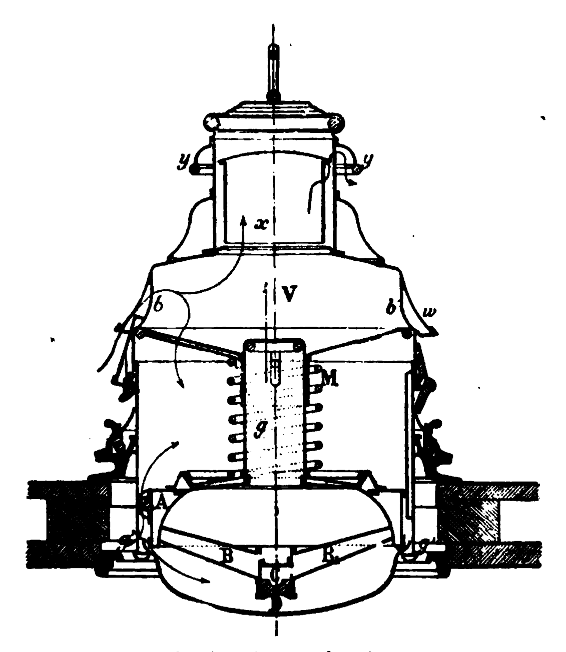


Fig. 6. — Lampe à bec plat.

mèche mobile; il n'y a pas de pignon de réglage. On la remplace après chaque période de fonctionnement. Tout l'appareil est renfermé dans une lanterne avec coupe en verre dans le bas correspondant au compartiment à éclairer.

8. Lampes à bec rond à alimentation automatique. — La flamme des lampes précédentes est toujours rougeâtre et fuligineuse, par suite de la combustion incomplète provenant du manque d'air. Une grande amélioration a été obtenue par l'invention du bec rond à double courant d'air due à Argand.

Ce bec est formé de deux cylindres concentriques entre lesquels on introduit une mèche tissée. La faible densité de l'air chaud détermine, au centre du bec, un courant qui active la combustion. Une cheminée en tôle, placée primitivement au-dessus du brûleur, augmentait encore le tirage ; elle a été remplacée dans la suite par une cheminée en verre entourant le bec et coudée à sa partie supérieure pour bien diriger l'air sur la flamme.

Lampes à réservoir latéral. — L'application du bec Argand fut faite aux lampes de cette époque (1780), dont on rencontre encore un exemple dans la lampe à réservoir latéral, qui n'est plus guère employée que comme appareil de luxe. Le bec communique par un conduit incliné avec le réservoir d'huile. Pour maintenir le liquide constamment à la hauteur du niveau supérieur du bec, on renverse dans le réservoir cylindrique un vase de même forme, ou bouteille. Cette bouteille, pleine d'huile, a son orifice dans le plan du niveau précédent. Dès que le liquide baisse dans le réservoir, une bulle d'air rentre dans la bouteille, faisant, par suite de l'augmentation de pression, écouler le liquide jusqu'à fermeture de l'orifice.

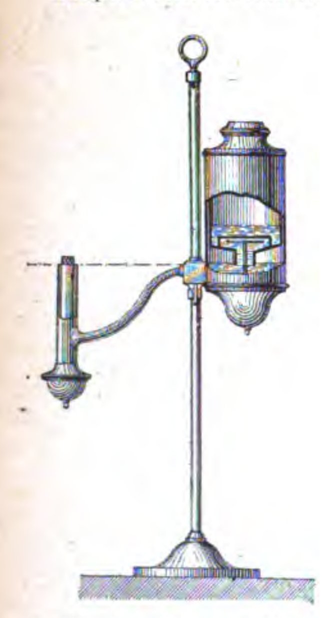


Fig. 7. — Lampe à réservoir latéral.

Une petite ouverture ménagée sur le réservoir maintient sur la surface du niveau la pression atmosphérique (*fig.* 7).

Le remplissage de la bouteille se fait par son orifice muni d'une soupape, qui se ferme lorsqu'on la soulève et empêche l'huile de tomber. Quand on la remet en place, la soupape, qui est munie d'une tige appuyant sur le fond du

réservoir, se soulève. Tout l'appareil coulisse le long d'un support vertical, mais il manque de stabilité et son emploi difficile l'exclut d'un service courant; la présence du réservoir latéral a d'ailleurs l'inconvénient de provoquer une ombre assez importante.

Lampes à réservoir supérieur. — Le principe des lampes à alimentation automatique et à bec rond a été appliqué à une série de lampes de voitures de chemins de fer. Dans le système de la Compagnie du Nord, le réservoir A muni de cales C pour reposer sur D est placé au-dessus du bec; il a la forme d'un anneau rectangulaire. D'un point de sa surface inférieure se détache un tube vertical P fermé par une soupape *a* à longue tige (*fig.* 8). On place cette bouteille au-dessus d'un étrier supporté par le réflecteur et dont une branche creuse T reçoit le tube vertical. La queue de la soupape *q* butant contre le fond de l'étrier se soulève, et l'huile s'écoule jusqu'à la mèche. Le point le plus élevé de l'orifice du tube de la bouteille doit être à 5 ou 7 millimètres au-dessous du plan supérieur du bec. Le fonctionnement est le même que dans l'appareil précédent : lorsque le niveau baisse, l'air pénètre dans la bouteille, amenant l'écoulement d'une nouvelle quantité de liquide. Une petite ouverture *m* dans la branche creuse de l'étrier permet à la pression atmosphérique d'exercer son action sur le niveau de l'huile.

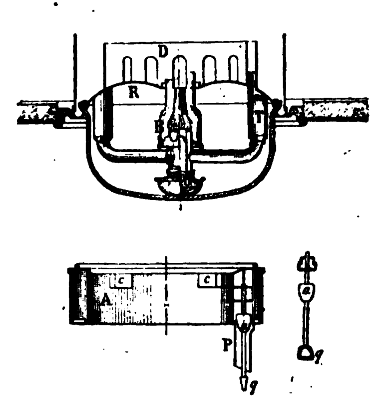


Fig. 8. — Lampe à bec rond.

La lampe se complète d'une cheminée en verre coudée B, prolongée par une cheminée en tôle. Un godet O vissé au-dessous du bec reçoit le trop-plein de l'huile; un réflecteur en tôle nickelée R, étudié tout spécialement, renvoie la lu-

mière dans tous les coins du compartiment. La mèche ronde, de faible longueur, se place sur un porte-mèche mobile ; elle est remplacée après chaque allumage. Cette lampe, pour une consommation horaire de 32 grammes, donne $0^{carc},70$; la contenance du réservoir étant de 585 grammes, la durée d'éclairage peut atteindre dix-huit heures.

Dans le système *Lafaurie et Potel*, employé sur le réseau de l'Ouest, la cheminée est supprimée. La bouteille a la même forme que précédemment; du fond se détache un seul tube coudé qui alimente la mèche. Tout le long de ce tube règne une seconde conduite qui prend l'air hors de la coupe et l'amène au centre du bec. L'air nécessaire au courant extérieur pénètre entre la coupe et le réflecteur séparés par trois cales. Le réflecteur est muni en son centre d'une cheminée métallique traversant le réservoir; sa section à la base est égale à celle de la mèche, $0^{m},02$. On obtient ainsi un tirage énergique qui donne à la flamme une très grande fixité. L'alimentation n'a pas lieu d'une manière aussi constante que dans l'appareil précédent, la descente de l'huile se faisant au fur et à mesure de l'entrée de l'air par le conduit d'arrivée du liquide. Comme précédemment, la lampe se complète d'une coupe en cristal et d'un godet de trop-plein. La consommation d'huile est de 25 à 30 grammes à l'heure. Le grand avantage de cette lampe est la suppression de la cheminée, ce qui entraîne une économie notable.

Tous les appareils précédents, et, d'une manière générale, tous ceux destinés à l'éclairage en plein vent, doivent être enfermés dans une *lanterne*. Cette enveloppe est en deux parties : le corps M et le chapiteau V (*fig.* 6). Sur le corps de la lanterne sont disposés des orifices *g'* laissant pénétrer l'air nécessaire à la combustion. Le chapiteau, qui n'est en quelque sorte que le prolongement de la cheminée *g*, sert à l'évacuation des gaz brûlés ; il se termine le plus souvent par une calotte mobile *y* qu'on ouvre pour le nettoyage de l'appareil. Il arrive que, par suite du vent, le tirage se modifie et occasionne des fluctuations de la flamme. Pour éviter cet inconvénient, on perce sur le chapiteau une série de trous *b* permettant une nouvelle entrée d'air. Si l'aspiration produite

par le tirage augmente, une partie de cet air est entraînée directement vers la sortie *x* sans amener aucun mouvement de la flamme, mais il faut pour cela que la quantité admise soit suffisante.

Dans la construction d'une lanterne, il faut éviter de faire communiquer directement l'intérieur de l'appareil avec l'air extérieur; on intercale une double paroi entre les deux, ou bien l'on recouvre l'orifice d'un volet *w*, de manière à briser le courant. Ces observations s'appliquent également dans le cas d'une lanterne de ville.

9. Lampes mécaniques. — *Lampe Carcel.* — L'huile ne montant par capillarité qu'à une faible hauteur, pour pouvoir placer le bec à la partie supérieure, on dut recourir à un mécanisme spécial produisant l'ascension du liquide. La première lampe mécanique est due à Carcel (1800); elle est encore employée de nos jours dans les laboratoires. Le mécanisme n'est pas apparent; il est tout entier contenu dans le fond du réservoir, qui a la forme d'un cylindre vertical. Il comporte deux parties principales: le *générateur* et le *moteur*.

Le générateur n'est autre qu'un mouvement d'horlogerie qui se remonte au moyen d'une clé carrée. Un petit taquet extérieur agissant sur le mouvement permet de l'arrêter momentanément. Le moteur est formé par une pompe à double effet qui aspire l'huile du réservoir et la refoule d'une manière continue dans un tube traversant le récipient et allant jusqu'au bec. Tout le mécanisme est placé dans un double fond facile à visiter. Le bec est à double courant d'air. Le porte-mèche est soudé à une crémaillère engrenant avec un pignon mû par une clé. Il est muni de trois ressorts à griffes qui servent à appuyer la mèche contre le cylindre intérieur et à l'entraîner. Lorsqu'on remonte complètement le porte-mèche au-dessus du bec, les ressorts s'écartent, laissant un espace vide pour mettre ou retirer la mèche. Une cheminée en verre coudée se place au-dessus du bec. Quant à l'arrivée de l'air, elle est assurée par une galerie ajourée reposant sur le réservoir; le bec étant fixé au-dessus de ce dernier par son tube d'alimentation, l'air accède librement à la flamme.

La lumière fournie par une carcel consommant 42 grammes à l'heure sert d'unité d'intensité lumineuse; l'appareil, dans ces conditions, doit avoir des dimensions parfaitement déterminées, comme l'indique la figure 9.

La mèche, dite mèche des phares, est formée de 75 brins;

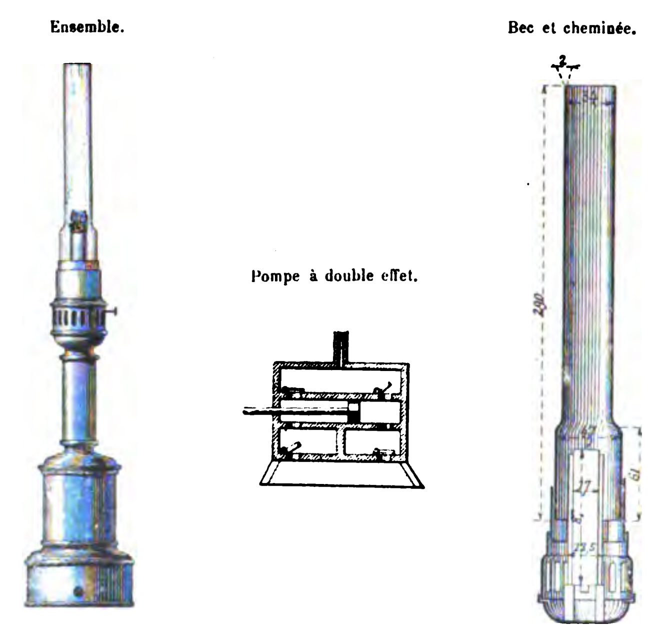


Fig. 9. — Lampe Carcel.

elle pèse 3gr,6 au décimètre de longueur. La lumière obtenue est très constante. Grâce à l'excédent d'huile élevée par la pompe, la mèche ne peut se carboniser. Les essais photométriques avec cette lampe exigent de grands soins : remplacement de la mèche, remplissage du réservoir, détermination exacte de la hauteur de la mèche (10 millimètres après chaque opération). Cet appareil, à peu près parfait, a contre lui son prix élevé.

Pour atténuer cet inconvénient, un grand nombre de sys-

tèmes ont été imaginés depuis ; la principale modification a porté sur le mécanisme. Dans la lampe *Gagneau*, dont le fonctionnement est le même, le moteur a été réduit : deux pistons mus directement par le mouvement d'horlogerie agissent sur des parois mobiles dans le fond du cylindre pour refouler l'huile au bec. Cette lampe a les avantages de la carcel, mais elle coûte encore fort cher.

Lampe modérateur. — Franchot a résolu le problème de la lampe mécanique à un prix abordable avec sa lampe modérateur. Elle comporte deux organes principaux, le *moteur* et le *modérateur*.

Un ressort en fil de fer ou d'acier *r*, contourné en double spirale, actionne un piston *p* glissant à l'intérieur d'un corps de pompe *a* formant réservoir d'huile: c'est le moteur. Le piston monté sur une tige creuse *c* est formé par un disque de cuir *b* embouti vers le bas et serré entre deux plaques de métal (*fig.* 10).

Le ressort prend son point d'appui contre le haut du réservoir en forme de cuvette; en se détendant, il pousse le piston vers le bas. Ce dernier comprime alors l'huile, qui n'a d'autre issue que la tige creuse en communication avec le bec. La pression du ressort, qui est très énergique, n'est pas constante, on est donc obligé de régulariser l'ascension du liquide,

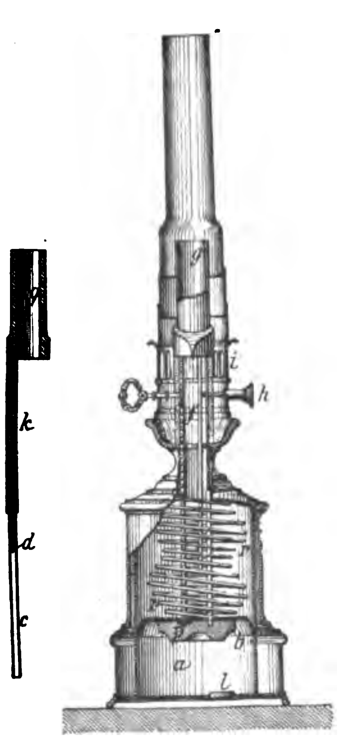


Fig. 10. — Lampe modérateur.

Dans ce but, la tige du piston coulisse dans un second tube extérieur *k* soudé au bec *g*, qui porte, en outre, une aiguille pleine *d* placée suivant l'axe de la tige du piston. Lorsque le piston est en haut de sa course, l'aiguille, ou modérateur, s'enfonce complètement dans le tube d'ascension, ne laissant passer que fort peu de liquide. A mesure que le ressort se détend, le modérateur restant fixe dégage la tige creuse; l'huile monte de plus en plus facilement jusqu'à la fin de la course.

On remonte le piston au moyen d'une crémaillère *f* mue par un pignon avec clé extérieure *h*. Cette opération peut se faire pendant le fonctionnement de l'appareil. L'emplissage du réservoir a lieu par la cuvette ; l'huile s'accumule au-dessus du piston. En le remontant, le cuir embouti se rabat et laisse entrer le liquide dans le corps cylindrique toute l'huile est passée lorsqu'on entend le bruit de l'aspiration de l'air. Tout le liquide envoyé au bec n'est pas brûlé, une partie sert à refroidir le brûleur et retombe dans la cuvette. Dans le fond du réservoir on a monté un trou de vidange *l* pour le nettoyage de l'appareil qu'il faut faire assez souvent.

Le bec à double courant d'air est identique à celui de la lampe Carcel. Les prises d'air se font par une galerie ajourée *i* reposant directement sur la cuvette. Dans l'appareil de Franchot, les deux courants intérieur et extérieur ne sont pas distincts; dans la lampe Hardon, dérivée de la précédente, au contraire, ils sont séparés; on peut ainsi doser la quantité nécessaire à chacun d'eux. Grâce à cette disposition, la cheminée coudée du début a pu être remplacée par une cheminée droite ; la lumière obtenue est plus brillante et plus blanche.

La contenance d'un réservoir est d'environ 910 grammes d'huile; la consommation horaire d'un bec de 30 millimètres de diamètre étant de 45 grammes, on voit que la durée de vingt heures est plus que suffisante pour les besoins courants. Il est vrai qu'il faut remonter le piston à certains intervalles. La lumière, très douce et très agréable, ne fatigue pas la vue ; elle est très riche en radiations rouges, ce qui justifie la faveur dont elle jouit.

10. Organes des lampes. — *Bec.* — Pour qu'une lampe fonctionne bien, il faut que tous ses organes soient établis avec soin. Il y a fort peu de chose à dire sur le bec plat; la seule condition est de permettre l'arrivée de l'air en quantité aussi grande que possible. Quant aux dimensions, elles dépendent surtout de l'intensité de lumière à obtenir, et cette dernière est sensiblement proportionnelle à la consommation. Un bec plat de 15 millimètres de largeur consomme 13 grammes et donne 0carc,23.

Les dimensions à donner au bec rond ne sont pas basées sur des règles fixes, on n'a guère que les données de la pratique, en partie résumées dans le tableau ci-dessous.

TYPE DE LAMPE	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	CONSOMMATION HORAIRE	INTENSITÉ MOYENNE horizontale
Lampe modérateur.	7 lig. ou 15mm,8	17gr,6	0carc,230
	9 — 20 ,3	21 ,31	0 ,576
	11 — 24 ,8	29 ,33	0 ,764
	13 — 29 ,4	37 ,02	0 ,948
Lampe Hardon	14 — 31 ,6	45 ,00	»
Lampe Gagneau...	11 — 24 ,8	60 .00	»
	14 — 31 ,6	80 ,00	»
Lampe Carcel	10 — 22 ,6	42 ,00	1 ,000
Bec rond (Nord) ...	11 — 24 ,8	32 ,00	0 ,70

L'épaisseur du bec, c'est-à-dire l'intervalle dans lequel se place la mèche, a une importance considérable, surtout dans le cas des lampes à niveau constant où le liquide s'élève par capillarité. D'après Péclet, la hauteur que peut atteindre l'huile dans des espaces annulaires de diverses dimensions est la suivante :

Largeur	Hauteur	Largeur	Hauteur
0mm,5	13mm,60	4mm,00	1mm,70
1 ,0	6 ,10	5 ,00	1 ,26
2 ,0	3 ,40	6 ,00	1 ,13
3 ,0	2 ,26	»	»

Il y aurait intérêt à prendre la largeur aussi faible que possible, mais alors la moindre inégalité dans cette dimen-

sion fait varier l'ascension, et la mèche se carbonise aux points faibles; de plus, le nettoyage devient très difficile.

Les deux cylindres qui forment le bec n'ont pas la même hauteur : la paroi intérieure doit être plus élevée; le métal, étant bon conducteur, absorbe la chaleur et empêche la mèche de charbonner; de plus, l'huile, arrivant en excès, forme un bourrelet qui se déverse le long du cylindre extérieur et le refroidit.

Les becs se font en cuivre ou en fer-blanc avec soudure latérale; mais, depuis plusieurs années, on emploie des tubes emboutis.

Mèche. — La mèche est formée par un tissu croisé en coton et soie, son diamètre est désigné par un numéro correspondant à celui du bec. Le tissu ne doit être ni trop lâche ni trop serré, car, dans ce dernier cas surtout, la capillarité s'exerce mal.

La mise en place de la mèche doit se faire soigneusement : le moyen le plus simple consiste à l'enfoncer sur un mandrin en bois qu'on emmanche sur le bec ; il suffit ensuite de la faire glisser jusqu'aux griffes du porte-mèche, puis de couper les bords très régulièrement après avoir retiré le mandrin.

Pour obtenir le maximum de lumière, il faut élever la mèche aussi haut que possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que la flamme devienne constante, sans fumer, bien entendu.

Les mèches doivent être conservées à l'abri de la poussière et de l'humidité, qui ont pour effet de diminuer la capillarité.

Cheminée. — La cheminée, formée par un cylindre en verre, a pour but d'activer le tirage et de donner à la flamme une grande fixité. Le plus souvent ce cylindre présente un coude vers la base de manière à diriger le courant d'air sur la flamme; il n'agit qu'autant qu'il est placé à une hauteur convenable; trop haut ou trop bas, il fait fumer. Aussi, quel que soit le type de lampe, le porte-verre doit pouvoir se déplacer de manière à obtenir la hauteur de coude voulue.

La hauteur de la cheminée et son diamètre au-dessus du coude sont deux dimensions importantes. Le tirage dépend de la hauteur ; plus il est actif, plus brillante est la flamme,

mais son volume diminue; il y a une vitesse limite, celle où le courant d'air, n'ayant plus le temps de s'échauffer, amène l'extinction de la flamme. On doit pouvoir modifier à volonté la hauteur de la cheminée. Dans les lampes à niveau, en général, un mouvement de rotation imprimé au godet fait monter plus ou moins la cheminée. Dans les lampes mécaniques le porte-verre est formé par un cylindre à trois fentes verticales qui lui permettent d'agir comme un ressort et de serrer la cheminée au point voulu. Ce dernier système a, en outre, l'avantage de permettre la libre dilatation du verre.

Le diamètre au-dessus du coude doit être aussi faible que possible: les produits de la combustion s'échappent plus difficilement et, pour une lumière déterminée, on a une consommation plus faible ; mais les cheminées étroites s'échauffent plus vite et cassent facilement. L'avantage d'un diamètre réduit se démontre en perçant un trou sur la cheminée au niveau de la flamme ; on voit cette dernière devenir plus blanche, et l'on constate que la consommation n'a pas augmenté.

On pourrait, même avec un diamètre important, ralentir l'échappement des produits de la combustion en plaçant au-dessus de la cheminée un obturateur, mais ce procédé n'a pas prévalu, la chute de cet accessoire entraînant presque toujours le bris du verre.

Voici les dimensions des cheminées les plus employées :

	BEC	HAUTEUR	DIAMÈTRE INTÉRIEUR au haut de la cheminée
	millimètres	millimètres	millimètres
Carcel	23,5	290	34
Lampe modérateur	29,5	300	30
	30,2	300	32
Hardon	30,2	240	32
Bec rond (Nord)	24,5	220	24

Les cheminées se font, le plus souvent, en verre double ou en cristal. Ces dernières, quoique coûtant plus cher, sont préférables à cause de leur durée.

Le nettoyage des cheminées se fait au plâtre fin, qui absorbe l'humidité et les corps gras. On frotte ensuite avec un goupillon, sans crainte de rayer le verre, enfin on essuie avec un chiffon propre très sec.

Les autres parties de la lampe se nettoient avec un chiffon que l'on fait pénétrer dans tous les angles avec un bout de bois ; il faut avoir bien soin surtout de ne rien laisser dans le courant d'air intérieur.

CHAPITRE II

TRAITEMENT DES HUILES MINÉRALES

---

§ 1. — Exploitation des gisements

11. Gisements. — Le pétrole, ou huile de pierre, se rencontre, en quantité variable, à peu près sur toute la surface du globe. Il existe sous plusieurs formes : mélangé à des gaz (*gaz naturel*) ; à l'état de liquide très volatil (*huile de naphte*) ou de liquide très stable à la température ordinaire (*pétrole proprement dit*) et, enfin, demi-solide (*bitume*), ou complètement solide (*asphalte*).

Les principaux centres de production sont les États-Unis, le Caucase et la Roumanie. Les gisements se trouvent plus spécialement dans le voisinage de grandes montagnes : le long des arêtes principales des monts Alleghanys en Pensylvanie, du Caucase et des Carpathes.

De 1859 à 1875, la Pensylvanie a fourni presque totalement le pétrole employé; la majeure partie provenait du bassin de Bradfort, de la contrée de Crawford et de la vallée de l'Oil Creek. Depuis, d'autres États, ceux de l'Ohio, de la Virginie-Ouest, du Colorado, ont apporté un contingent important.

Le pétrole d'Amérique est constitué par de l'huile de naphte, c'est-à-dire par un liquide très volatil ; quelques puits donnent du gaz naturel. Il existe aux États-Unis plus de 13.000 kilomètres de canalisation de gaz naturel, dont 5.354 en Pensylvanie et 1.799 pour l'Ohio. Pittsburg, Erié et un grand nombre d'autres villes sont éclairées au gaz naturel, qui sert également de combustible industriel. Au début, le gaz s'échappait sous

une pression élevée; mais cette pression a été réduite par l'extension du nombre des puits; il a même fallu, pour quelques installations, recourir à des pompes pneumatiques.

Des puits de gaz naturel existent également en Russie, aux environs de Bakou, ainsi qu'au Turkestan.

L'exploitation des gisements du Caucase, commencée en 1821, constituait un monopole qui ne fut aboli qu'en 1872; c'est depuis cette dernière date qu'elle s'est particulièrement développée. Le pétrole liquide recueilli est plus dense, quoique s'échappant souvent sous forme de fontaines jaillissantes; la partie la plus productive se trouve dans la presqu'île d'Apchéron, sur la mer Caspienne; le centre est Bakou. En 1901, on comptait 1.390 forages; ce chiffre, depuis, est resté sensiblement stationnaire. Le pétrole des Carpathes, qui vient en troisième ligne comme importance, se trouve en Roumanie et en Galicie; l'exploitation, plus récente, tend à se développer, la couche, très riche en huile lampante et en ozokérite ou cire minérale, a une étendue de $400^{km} \times 20^{km}$.

Il existe encore quelques gisements épars, comme ceux de Pechelbronn (Alsace), du Canada, d'Italie. En France, on cite le gîte insignifiant de Gabian, dans l'Hérault.

Comme schistes bitumineux, il convient de signaler ceux d'Écosse, d'Autun et de l'Allier, en France; les calcaires bitumineux de l'Ain et les asphaltes de la mer Noire ou bitume de Judée.

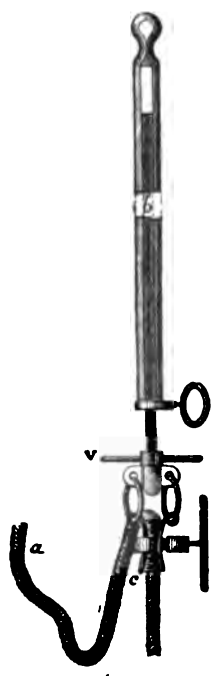


Fig. 11. — Avancement du câble.

12. Pétrole d'Amérique. — La couche de pétrole se trouve ordinairement entre 200 et 300 mètres de profondeur, quelquefois à 600 mètres; pour y parvenir, on exécute des forages ayant de $1^m,50$ à 2 mètres de diamètre à la surface,

et quelques centimètres seulement au voisinage de la nappe. L'outil de forage est un trépan suspendu à l'extrémité d'un câble qu'on laisse tomber d'une certaine hauteur pour désagréger la roche; il est ordinairement en plusieurs pièces en acier assemblées entre elles; l'ensemble pèse souvent plus d'une tonne. Le câble s'enroule autour d'un treuil pendant l'ascension; il suffit ensuite de le laisser se dérouler par l'action de la pesanteur pour obtenir un choc violent. On procède ainsi sur une profondeur de 80 mètres environ, puis le treuil est remplacé par un balancier dont un des bras reçoit, par l'intermédiaire d'une vis *b* (*fig.* 11), le câble supportant le trépan. L'attache du câble *a* à la vis se fait au moyen de griffes; il suffit de tourner le volant *v* pour faire descendre la vis et par suite le trépan.

Les déchets provenant de la roche brisée s'enlèvent au moyen de la pompe à sable, qui n'est autre qu'un cylindre en fer muni, dans le bas, d'une soupape à tige. Cet outil de curage s'enroule autour d'un treuil spécial. En laissant tomber la pompe, la tige de la soupape heurte le fond, se soulève et le tube se remplit des détritus qu'on remonte ensuite.

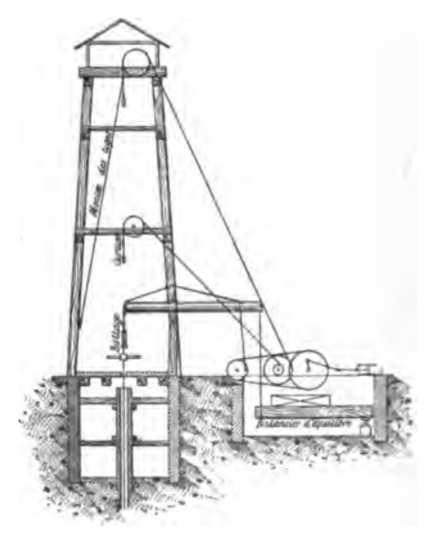


Fig. 12. — Derrick.

Au fur et à mesure de l'avancement du forage, il est nécessaire de maintenir les parois; on se sert de tubes métalliques de 1,5 à 4 millimètres d'épaisseur qu'on enfonce au moyen d'un mouton en ayant soin de protéger la tête des tubes par un chapeau en fer.

Lorsqu'on arrive au gisement pétrolifère, le balancier est de nouveau remplacé par le treuil qui sert à enrouler tout le câble et à remonter le trépan. Les divers appareils, balanciers ou treuils, sont mus par un moteur mécanique au moyen de transmissions souples. On compte, pour un forage, une force motrice de 12 à 15 chevaux. Les diverses poulies de renvoi sont placées sur un échafaudage en bois ou *derrick* (*fig.* 12).

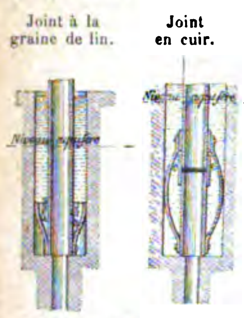
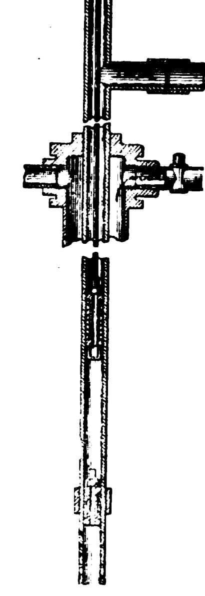


Fig. 13. — Infiltration d'eau.

Il arrive parfois que le trépan ou la pompe se brisent dans le puits, et il devient impossible de les relever ; l'opération est à recommencer. D'autres fois, au lieu d'une roche dure et résistante, on rencontre une nappe d'eau. Pour empêcher l'infiltration, au point de séparation des couches de terrain, on termine le tubage soit par un joint à la graine de lin, qui n'est autre qu'une poche pleine de grains formant joint étanche en se dilatant, soit au moyen d'un bourrelet en cuir muni d'un manchon mobile, que la pression de l'eau appuie contre la paroi (*fig.* 13).

Lorsqu'on arrive au gisement, l'huile minérale peut s'échapper sous forme de gerbe jaillissante (*flowing wells*) atteignant plusieurs mètres de hauteur. On la recueille alors dans des bassins établis à la hâte. L'éruption peut durer assez longtemps; mais, une fois terminée, il faut recourir à des pompes (*pumping wells*) pour aspirer le liquide. Le corps de pompe (*fig.* 14), formé par une série de tuyaux en bronze, ne mesure que quelques cen-


Fig. 14.—Pompe élévatoire.

timètres de diamètre; il se loge à l'intérieur des puits. Le piston comporte une série de rondelles en cuir; il porte, en son milieu, une soupape à boulet pour le refoulement. La soupape d'aspiration se trouve établie dans les mêmes conditions, au bas de la pompe. On ferme complètement l'orifice supérieur du puits, en ayant soin de ménager une conduite spéciale pour l'échappement des gaz combustibles; un deuxième tuyau sert à l'écoulement de l'huile. Le mouvement du piston est obtenu avec le balancier de forage.

Quand le débit du puits devient trop faible, on essaie de l'augmenter en disloquant la roche par des explosifs. Des cartouches de dynamite sont descendues dans le trou de sondage ; il suffit de laisser tomber dessus une masse de fonte pour produire l'explosion. Le déchirement de la roche provoque parfois la création de nouvelles issues pour les gaz et la communication du puits avec des cavités voisines contenant du pétrole. Si le résultat n'est pas satisfaisant, on abandonne le gisement après avoir eu soin de combler le puits asséché avec du sable pour empêcher son envahissement par les eaux.

13. Pétrole du Caucase. — Le procédé à la corde ne saurait être employé au Caucase, car l'outil de forage serait dévié par l'inclinaison des couches. Le forage se fait donc au moyen de tiges rigides assemblées entre elles. Elles sont attachées à la partie supérieure au bras du balancier par l'intermédiaire d'un crochet à anneau tournant. Il est très facile, au fur et à mesure, d'ajouter de nouvelles tiges sans avoir à remonter tout le système. Le diamètre des puits varie de $0^m,20$ à $0^m,40$; il est vrai que la profondeur n'excède guère 300 mètres (200 en moyenne). Le tubage est plus important à cause des couches de sable que l'on traverse ; les tubes mesurent 2 mètres de long et 3 à 5 millimètres d'épaisseur.

L'huile s'échappant presque toujours sous forme de gerbe, on utilise, pour régulariser le jet, un robinet-vanne ou *kalpack*. Il consiste, essentiellement, en un tronçon de tube en fonte muni d'un clapet à tiroir manœuvré horizontalement par une tige extérieure. On assemble le kalpack sur le

dernier tube posé ; si un jaillissement brusque vient à soulever la sonde, il suffit de fermer le tiroir pour capter la source : le jet régularisé est alors dirigé horizontalement vers les réservoirs au moyen d'un tuyau coudé qui est très épais ($0^m,07$ à $0^m,08$) en raison de l'usure produite par les matières solides qui accompagnent l'huile.

Lorsque le liquide ne s'élève pas jusqu'à la surface du sol, au lieu d'une pompe, on emploie une noria à godets basculeurs dite *jelonka*, recevant un mouvement alternatif. La capacité des godets est de 120 à 200 litres (3 mètres de haut × $0^m,250$ de diamètre); ils sont munis, dans le fond, d'un clapet qui se soulève à la descente pour laisser pénétrer le liquide et se referme à la montée.

L'extraction des pétroles en Roumanie se fait à peu près de la même façon, sauf que les forages, très profonds, 500 mètres environ, se font à la sonde; les puits, de $1^m,20$ à $1^m,50$ de diamètre ou de côté, sont garnis d'un cuvelage en planches ou en branches d'arbre.

Le débit des puits, aussi bien en Amérique qu'au Caucase et en Roumanie, est très variable; quelques-uns donnent aisément, pendant longtemps, 100 mètres cubes par jour; d'autres, au contraire, se tarissent presque aussitôt. La production, en 1899, atteignait 10.584.000 tonnes aux États-Unis, et 8.600.000 au Caucase.

Le tableau ci-après renseigne sur l'importance de la production du pétrole dans les États-Unis et au Caucase pour la période comprise entre les années 1887 et 1898 ; les quantités sont exprimées en millions de pouds (le poud vaut $16^{kg},38$).

ANNÉES	BAKOU	ÉTATS-UNIS	ANNÉES	BAKOU	ÉTATS-UNIS
1888	182	216,7	1893	325	379,5
1889	191	275,7	1894	297.5	387,1
1890	226	359,1	1895	377.5	388,4
1891	274	425,3	1896	386,3	441.8
1892	286	395,7	1897	422,4	432,6

14. Transport du pétrole. — Le pétrole, à sa sortie des puits, est recueilli dans de grands réservoirs en tôle de plusieurs

milliers d'hectolitres, où se déposent les eaux douces ou salées, les matières minérales ou végétales; en un mot, toutes les impuretés qui accompagnent les dégagements. De là, il est envoyé aux raffineries; le mode de transport varie suivant les circonstances.

On se sert de barils en bois ou même en papier comprimé, cerclés en fer et sans joints, d'une contenance de 120 à 200 litres; ce mode de transport ne convient que pour les faibles quantités. Avec les wagons ou les bateaux-citernes on augmente de beaucoup la capacité transportée. Les wagons-citernes sont formés par des réservoirs cylindriques en tôle de $7^m,35 \times 1^m,65$ de diamètre, montés sur un truck métallique; le poids transporté est de 12 tonnes environ. Les bateaux-citernes, de $40^m \times 6^m,70 \times 4^m,80$, d'un emploi très commode, ont leur cale divisée en plusieurs parties égales par des cloisons longitudinales, de manière à les empêcher de chavirer par les gros temps; ils peuvent contenir 345.000 litres d'huile minérale.

Pour remplir les wagons ou les bateaux-citernes, il faut que les réservoirs soient placés près d'une estacade, le long de laquelle court une conduite portant, à des intervalles égaux à la longueur d'un wagon, un branchement à robinet en plomb ou étain; de cette façon tous les wagons sont remplis simultanément; le chargement d'un train dure une heure et demie environ.

On relie, quelquefois, le quai d'embarquement aux centres d'extraction par une canalisation métallique ou *pipe-lines*. L'écoulement se fait alors soit par la pesanteur, soit au moyen de pompes spéciales. Ce mode de transport est très répandu; les raffineries de Pittsburg, New-York, Baltimore, sont alimentées de cette façon. Une première canalisation amène l'huile des puits à une station de réservoirs placée à un niveau inférieur; elle est reprise, ensuite, par des pompes Worthington pour être refoulée à une deuxième station et ainsi de suite. La longueur de la canalisation du bassin de New-York atteint 475 kilomètres en tuyaux de 150 millimètres. En 1884, la National Transit C° possédait 1.750 kilomètres de tuyaux de 150 millimètres.

Au Caucase, le pétrole est transporté par wagons-citernes et

par pipe-lines enterrées dans le ballast, le long de la voie ferrée, sur une longueur de 230 kilomètres : deux pompes élévatoires de 150 chevaux refoulent le liquide à la pression de 45 atmosphères; les conduits, de 8 millimètres d'épaisseur, ont 200 millimètres de diamètre pour un débit de 90 tonnes par jour. Le pétrole est ainsi rassemblé dans les deux ports de Bakou et Batoum, où il est recueilli dans de grands réservoirs : deux de 12.000 mètres cubes à Bakou et onze de 600.000 mètres cubes au total à Batoum.

Les conduits ne tarderaient pas à s'obstruer, si l'on n'avait soin, de temps à autre, de les nettoyer au moyen d'une brosse conique en fils d'acier entraînée par le courant de pétrole.

§ 2. — Raffinage de l'huile minérale

15. Origine du pétrole. — La plupart des gisements du pétrole se trouvent dans les terrains anciens (silurien et dévonien), quelques-uns dans le triasique et même dans les terrains tertiaires (Californie) ; il en résulte qu'il est difficile de préciser la date d'origine. Quant au mode de formation, on a été amené à formuler diverses hypothèses, toutes assez incomplètes.

Suivant les uns, le pétrole est le résultat de la décomposition de matières organiques animales. Cette théorie s'appuie sur des expériences directes (Engler), par lesquelles des substances grasses sont soumises à la distillation sous pression ; le produit obtenu est une sorte d'huile, véritable pétrole artificiel. Il est indispensable que la décomposition ait lieu à haute température sous pression, car à la température ordinaire les corps organiques ne donnent jamais de pétrole ; de plus ce liquide détruit les ferments.

Sa ressemblance avec les huiles extraites de la houille pourrait faire supposer qu'il provient de la distillation de la houille sous l'action du feu terrestre ; les sources jaillissantes et communiquant entre elles, le gaz naturel, viendraient à l'appui de cette hypothèse, qui, malheureusement, n'explique pas les dépôts antérieurs au terrain houiller.

La troisième thèse, la plus récente, trouve une confirmation dans l'existence des sources à grand débit permanent. Elle est basée sur une série de réactions chimiques et en particulier sur la décomposition de l'eau par les carbures métalliques en donnant naissance à des composés hydrogénés et à des oxydes. Les carbures proviendraient de l'action de l'acide carbonique du feu central sur des métaux alcalins ou encore par suite de la combinaison du calcaire et du carbone à haute température. L'eau existant à l'intérieur du globe, la décomposition en est très facile.

16. Propriétés de l'huile minérale. — *a) Caractères physiques.* — Les huiles minérales sont caractérisées par une odeur aliacée assez désagréable. Leur couleur varie du jaune clair translucide au noir opaque; elle est toujours fluorescente, c'est-à-dire qu'elle présente une teinte verte ou bleue à la lumière réfléchie. Leur densité est très variable : de 0,765 à 0,975 selon les provenances : les pétroles d'Amérique pèsent 0,780 à 0,860 à 15°; ceux de Roumanie, 0,790 à 0,870; les plus lourds sont ceux du Caucase, 0,845 à 0,970. Soumise à l'action de la chaleur, l'huile minérale se fractionne en une série de produits dont le degré de volatilité est très différent; cette séparation est assez difficile, car la cohésion des divers éléments est très intime; c'est cependant sur cette propriété qu'est basé le raffinage du pétrole.

La dilatation de ce liquide est considérable; le coefficient est compris entre 0,000697 et 0,000710; il varie en raison inverse de la densité. Sa puissance calorifique est de 10.000 à 10.500 calories environ au kilogramme. Sa chaleur spécifique varie de 0,45 à 0,50. Le caractère le plus saillant est son *inflammabilité*, c'est-à-dire la propriété qu'il a de prendre feu au contact d'un corps incandescent. Le degré de température correspondant à ce phénomène est désigné sous le nom de *point éclair.*

Il ne faut pas confondre le *point éclair* avec le *point de combustion :* le point éclair est le degré de chaleur nécessaire pour que l'huile chauffée au contact de l'air donne lieu à une explosion accompagnée d'une flamme qui s'éteint presque aussitôt; tandis que le *point de combustion* correspond au

degré de chaleur nécessaire pour que l'huile ayant pris feu continue à brûler. Les pétroles d'Amérique s'enflamment facilement à la température de 20 à 25°; ceux de Roumanie entre 25 et 60°; et, enfin, ceux du Caucase vers 35°.

Un autre caractère physique très important est la *viscosité*, c'est-à-dire la propriété qu'a un liquide de s'écouler plus ou moins rapidement par un orifice déterminé et à une température choisie : généralement 35° ou 100°. La mesure du coefficient de viscosité se fait à l'aide du viscosimètre Engler, la viscosité de l'eau étant prise pour unité. La viscosité des huiles de graissage, à 100°, varie entre 1,25 et 4,82 (Kumler).

Enfin, pour l'huile de graissage, il est indispensable de déterminer le *degré de congélation;* c'est ainsi que celle employée par les Compagnies des chemins de fer doit rester liquide à — 20°; il suffit, pour les essais, de soumettre l'huile à des mélanges réfrigérants.

L'huile minérale dissout les corps gras, le caoutchouc, etc.; un grand nombre de ses dérivés sont du reste employés à cet usage. Mélangée d'eau, elle surnage; de là l'obligation d'éviter l'emploi de ce liquide pour éteindre le pétrole enflammé; il faut se servir d'une substance incombustible, comme le sable, les cendres, empêchant l'arrivée de l'air et, par suite, la combustion.

б) *Propriétés chimiques. — Composition.* — L'huile minérale étant un mélange complexe de carbures, offre peu d'intérêt au point de vue des propriétés chimiques. On ne la soumet guère d'ailleurs qu'à l'action de l'acide sulfurique, qui a pour effet de la désodoriser et de la clarifier.

Comme composition, on peut dire que le pétrole brut renferme toute la série des carbures :

Des carbures *forméniques* C^nH^{2n+2}, depuis le premier terme gazeux, comme le méthane CH^4, qui existe dans le gaz naturel dans la proportion de 86 0/0, les carbures liquides, comme la palmitane ($C^{16}H^{34}$), jusqu'aux paraffines solides;

Des carbures *aromatiques* C^nH^{2n-6}, *éthyléniques* C^nH^{2n} et *acétyléniques* C^nH^{2n-2}, qui sont en plus petite quantité, mais dont la teneur augmente dans les produits de la distillation. La proportion de ces différents carbures varie avec la pro-

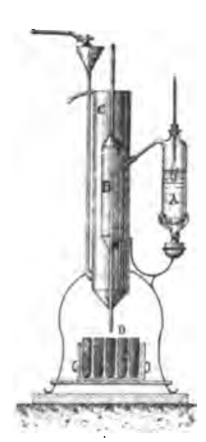
venance : c'est ainsi que les pétroles d'Amérique sont riches en carbures forméniques, ceux du Caucase contiennent des carbures éthyléniques en assez grande quantité, tandis que ceux de Galicie sont caractérisés par des carbures aromatiques. Si, par contre, on examine la composition élémentaire, on trouve qu'elle est sensiblement la même pour tous les pétroles : 83 à 86 de carbone et 12 à 14 d'hydrogène, à peine 3 0/0 d'oxygène et fort peu d'azote et de soufre ; ce dernier corps donne aux huiles leur odeur fétide. Cette présence de corps combustibles en majorité explique la puissance calorifique du pétrole (10.500 calories). A poids égal, l'huile minérale dégage une fois et demie autant de chaleur que la houille de bonne qualité.

17. Essai des huiles brutes. — D'après la loi du 30 juin 1893, il existe, au point de vue fiscal, trois sortes de pétroles : les *bruts*, les *raffinés* et les *huiles de graissage*. Toute huile minérale ne contenant pas plus de 30 0/0 de produits lampants est considérée comme huile de graissage ; de même celle qui n'en renferme pas plus de 90 0/0 et qui n'est pas susceptible, dans l'état où elle est, de brûler convenablement dans les lampes ordinaires, est admise comme brute. Il est donc nécessaire d'essayer les huiles dès leur importation.

On détermine d'abord les caractères généraux : couleur, odeur, densité à 15° et inflammabilité. On fait ensuite un essai d'éclairage dans une lampe spéciale : cet examen doit se faire dans certaines conditions. La lampe que l'on emploie reçoit, sur la gaine du bec, une boîte carrée en fer-blanc munie, sur chaque face, d'une fenêtre divisée en deux parties par un réticule horizontal ; les fenêtres et les réticules servent à mesurer les dimensions de la flamme. Le réservoir doit être rempli de 500 centimètres cubes d'huile, traitée préalablement par l'acide sulfurique ; dans ce but, on mélange 600 centimètres cubes d'huile et 30 d'acide ; le mélange, agité, est décanté et filtré. Quant à la mèche de la lampe, elle mesure exactement $0^m,20$ de longueur ; elle doit être desséchée à 100°. On allume la lampe avec soin en donnant à la flamme la hauteur nécessaire pour que la pointe arrive dans le plan formé par le bord supérieur de deux fenêtres

opposées. On laisse brûler ensuite pendant quatre heures, puis on mesure, avant d'éteindre, la hauteur de la flamme par rapport aux réticules, et on détermine, finalement, le poids d'huile brûlée pendant quatre heures. On arrive aux conclusions suivantes :

Les pétroles importés d'Amérique, dont la densité varie de 0,780 à 0,805 et qui s'enflamment à la température ordinaire, donnent dans la lampe une consommation très voisine de 90 grammes. Ceux du Caucase, qui pèsent plus de 0,830 et ne s'enflamment qu'à 35°, donnent au plus une consommation de 110 grammes. On pourrait également fixer les caractéristiques pour d'autres provenances.



A, Cornue à pétrole.
B, Condensateur.
C, Réfrigérant.
D, Eprouvettes.

Fig. 15. — Appareil distillatoire.

L'essai d'une huile minérale d'origine américaine, présentée comme brute, peut se faire en la soumettant à une distillation en réduction, se rapprochant autant que possible du raffinage ordinaire et en admettant, pour cette opération et celles consécutives qu'auraient à subir le produit distillé et le résidu, des pertes analogues à celles constatées en Amérique par le traitement des produits correspondants. La quantité sur laquelle on opère n'étant que de 300 grammes, on se contente d'une seule distillation à 350°. On mesure, au bout d'une demi-heure, la quantité A de produits volatilisés au-dessous de 350°, qu'on diminue d'une fraction a, égale environ à 5 0/0 de A, représentant le déchet des produits volatils; B étant le poids du résidu, on le réduit également d'une quantité b égale à 18 0/0 de B et représentant le déchet des produits lourds. Le rendement pour 100 sera :

$$100 \frac{A - a + B - b}{300} = R.$$

Dans le cas des pétroles russes, on fait B et b égaux à 0 ; a devient 2 0/0 de A.

L'opération se fait dans un appareil spécial (*fig.* 15). Dans l'industrie, on fait un essai analogue en distillant 600 centimètres cubes dans des cornues en cuivre ou en fer. On fractionne l'essai en 20 parties, chacune d'elles ayant une durée fixée à l'avance ; on détermine les températures extrêmes de chaque fractionnement et on mesure la densité des produits recueillis. Par comparaison avec une table ou avec des courbes établies à l'avance, on obtient tous les renseignements nécessaires sur le rendement de l'huile essayée.

18. Distillation du pétrole. — La chaleur a pour effet de séparer les divers carbures qui composent l'huile minérale. Les plus volatils s'échappent d'abord, mais toujours à une température supérieure à leur température spécifique d'ébullition, du fait qu'ils sont mélangés avec des carbures moins volatils. Les produits obtenus sont divisés, au point de vue industriel, en trois groupes qu'on recueille séparément : *essences*, *huile lampante* et *huiles lourdes*.

La proportion de ces différentes huiles dépend non seulement de la provenance, mais encore elle varie avec le mode d'opération. En effet, sous l'action plus ou moins vive de la chaleur, quelques hydrocarbures lourds se décomposent vers 300 à 350°, en donnant naissance à des carbures plus légers. Ce phénomène, connu sous le nom de *cracking* ou *brisement*, n'est pas une simple séparation, mais bien une dissociation qu'on utilise pour augmenter la proportion des huiles lampantes.

Les produits de premier jet sont traités à leur tour et les résidus sont ajoutés à du pétrole brut ou mélangés entre eux. Le tableau suivant, dû à M. Bourgougnon, résume les divers fractionnements obtenus directement ou après mélanges au cours de la distillation.

Huile minérale brute			Gazoline	0,640 à 0,670	
			Essence à détacher	0,690	
	Essence brute 1er jet				
	Benzine brute	Essence brute	Essence rectifiée	0,705	éclairage et chauffage
			Essence lavée	0,720	
		Rectifié léger			
	Rectifié de 1er jet		Pétrole épuré	0,795 à 0,800	
	Résidu des huiles lourdes	Rectifié de 2e jet			
		Pétrole lourd n° 2	Pétrole lourd n° 1	0,845 à 0,850	
			Pétrole lourd n° 2	0,850	
			Huile à paraffine	0,870	
		Goudron n° 2	Combustible.		
		Coke et brai			

Généralement, on considère comme *essences* ou *benzines* tout ce qui distille jusqu'à 150°. Ce sont des produits volatils par excellence, riches en carbures forméniques et dont la densité est voisine de 0,700, mais ne doit pas dépasser 0,750.

L'huile *lampante* comporte les carbures passant à la distillation entre 150 et 280°. Sa densité varie de 0,770 à 0,830. Dans bien des cas, et même presque toujours, c'est la partie la plus importante de la fabrication.

Au-dessus de 300°, le résidu constitue les *huiles lourdes* ou *goudron* (mazout des pétroles russes). Elles se composent en grande partie d'huile de graissage, de paraffine, etc., dont la valeur commerciale dépasse celle de l'huile lampante. On les emploie quelquefois directement au chauffage des foyers industriels, à moins qu'on ne les soumette à un traitement spécial pour obtenir différents dérivés, comme la vaseline par exemple. Leur densité est comprise entre 0,850 et 0,920.

Quant à la proportion de ces trois groupes, elle varie avec la provenance de l'huile : le pétrole d'Amérique, très riche en huile lampante, renferme une certaine quantité d'essences mais peu d'huiles lourdes à paraffine; le pétrole du Caucase, au contraire, donne beaucoup plus d'huiles lourdes, un tiers d'huile lampante et fort peu d'essences. Le pétrole de Roumanie et de Galicie se rapproche de ce dernier. Le tableau suivant résume ces proportions :

PRODUITS	PÉTROLE D'AMÉRIQUE	PÉTROLE DU CAUCASE	PÉTROLE DE ROUMANIE
Essences........	8 à 20 0/0	3 à 10 0/0	0 à 12 0/0
Huile lampante.	78 à 70	32 à 53	28,32 à 46,89
Huiles lourdes..	9 à 3	35 à 60	13,37 à 58,12
Pertes	5 à 7	2 à 5	

19. Raffinage. — Le mode de travail varie d'une usine à l'autre et dépend du produit à traiter. Il peut se faire, en effet, qu'on ait à traiter de l'huile brute ou un mélange d'huile rectifiée et d'huiles lourdes. C'est le cas des huiles du Caucase qu'on distille sur place et qu'on expédie en France et en Autriche additionnées de 10 0/0 de mazout environ.

Distillation. — Le chauffage de l'huile s'opère dans des chaudières verticales ou horizontales. Les chaudières verticales en tôle d'acier de 18 à 14 millimètres d'épaisseur sont formées par un cylindre de 3m,30 de hauteur sur 10 mètres de diamètre, soit 250 mètres cubes, reposant, par un fond à double courbure, sur un massif de maçonnerie comportant seize foyers, de façon à assurer une égale répartition de la chaleur. Les produits de la combustion aboutissent à une caisse commune placée au centre. Le couvercle est réuni au corps cylindrique par des boulons.

Les chaudières horizontales sont formées par un cylindre de 9 mètres de long sur 4 de diamètre environ. Elles sont encastrées dans des massifs en maçonnerie laissant libre la partie supérieure. On les adosse par batteries de trois ou quatre. La distillation peut se faire d'une façon continue, comme à Bakou, par exemple, où on a trois séries de dix-sept chaudières chacune. Dans chaque groupe, le pétrole entre dans la première chaudière, où il est chauffé à 120° C.;

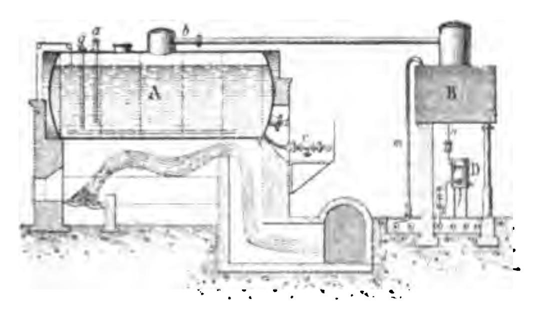


Fig. 16. — Raffinage de l'huile minérale.

il passe ensuite dans la seconde, où la température est augmentée, et ainsi de suite jusqu'à la dix-septième, où elle atteint 300°. On arrive de cette façon à traiter par jour 3.200 tonnes de naphte.

Les chaudières A sont munies de plusieurs orifices (*fig.* 16), l'un *a* pour l'arrivée de l'huile, qui vient de réservoirs supérieurs de 1.500 à 3.000 tonnes de capacité, *b* pour le départ

des produits condensés, *c* pour la vidange des huiles lourdes ; très souvent, une tuyauterie spéciale *g* permet l'introduction de vapeur qui a pour effet de modifier avantageusement la couleur et l'odeur des produits distillés, surtout quand il s'agit d'huile provenant du cracking; *d* est un tampon pour le lavage de la chaudière. Le chauffage des chaudières de distillation à feu nu se fait à la houille ou aux huiles lourdes. Au Caucase, on emploie presque exclusivement le mazout.

Condensation. — Jusqu'à 70°, on ne recueille guère les produits distillés formés en majeure partie de gaz forméniques non condensables. Ceux qui les suivent, essences ou benzines, sont envoyés dans un condenseur où ils sont ramenés à l'état liquide. Le condenseur est formé par une bâche en tôle B à circulation d'eau froide, *m*, dans laquelle plonge soit un serpentin unique en fonte du diamètre du tuyau de communication avec la chaudière, 375 millimètres environ, soit une série de tuyaux en fer (au moins 40) d'un diamètre assez faible (50 à 80 millimètres) aboutissant tous à un collecteur unique *n*. Il faut compter, pour 100 mètres cubes d'huile distillée, 15 à 20 mètres carrés de surface de condensation. A la sortie du condenseur, le liquide tombe dans un récipient en fonte ou lanterne D muni d'une glace *r* sur le côté, de manière à apercevoir la couleur des produits; un robinet *t* sert à la prise d'échantillons pour déterminer leur densité. De ce récipient, au moyen d'une sorte de jeu d'orgues *u* comportant un certain nombre de robinets, on dirige les produits dans des réservoirs différents.

Pendant la distillation des essences ou benzines, c'est-à-dire jusqu'à 150° environ, le chauffage doit se faire modérément ; mais, lorsqu'on atteint ce degré avec des densités de 0,755, s'il s'agit de pétrole de luxe, ou de 0,730, pour le pétrole ordinaire, il faut pousser le feu de manière à produire le cracking sans toutefois amener la décomposition des huiles lourdes.

Lorsqu'on arrive aux huiles lourdes, c'est-à-dire vers 300°, on arrête la distillation. Le liquide restant dans la chaudière est envoyé dans un récipient spécial, où il devra séjourner plusieurs jours avant de subir un nouveau traitement; du

reste, chacune des parties distillées est appelée à subir soit un nouveau fractionnement, soit une épuration spéciale, avant d'être livrée au commerce.

La consommation de combustible varie naturellement suivant les produits à obtenir ; il faut compter pour les pétroles russes (mélange d'une première distillation et de mazout) 12 à 18 kilogrammes de charbon pour 100 kilogrammes d'huile lampante.

20. Essences. — Les essences, connues plus particulièrement sous le nom de benzines, sont redistillées de nouveau dans des chaudières, d'une capacité de 100 à 150 mètres cubes, chauffées à la vapeur. Le plus souvent, elles sont lavées au préalable, d'abord à l'acide sulfurique 2 0/0, puis avec une faible lessive de soude. L'opération se fait dans une cuve cylindrique contenant un agitateur à palettes. Ce lavage a pour but de décolorer les produits tout en leur enlevant leur odeur désagréable. Il doit se faire à froid et l'acide doit être ajouté progressivement. Le fractionnement des essences donne quatre dérivés :

COMPOSÉS	DENSITÉ	ÉBULLITION	PROPORTIONS
Gaz forménique......	0,630 à 0,635	50 à 90°	25 0/0
Gazoline.............	0,640 à 0,660		
Naphte...............	0,670 à 0,720	—	20 à 25
Benzine..............	0,720 à 0,740	—	40

Le résidu de cette distillation est mélangé à de l'huile lampante, sauf cependant lorsqu'il s'agit d'obtenir du pétrole de luxe. La durée de l'opération est de quarante-huit heures pour 100 à 150 mètres cubes d'essence.

Les produits de la distillation ont des emplois très divers. Les gaz incondensables, cymogène et rhigolène, peuvent être liquéfiés et servir pour certaines condensations, mais le plus souvent on se contente de les brûler sous les chaudières.

La gazoline, ou éther de pétrole, est employée à la carburation de l'air, au chauffage des fourneaux de cuisine, à

la dissolution de la résine et des corps gras et surtout dans les voitures automobiles. Ce liquide incolore possède, à la température ordinaire, une tension de vapeur très élevée, aussi est-il d'une manipulation dangereuse. Le naphte a sensiblement les mêmes applications, et en particulier l'éclairage par lampe à essence. Enfin la benzine est le dégraissant par excellence, elle sert également comme dissolvant dans certaines fabrications, on peut du reste employer dans le même but le produit non fractionné. Le point d'inflammabilité des dérivés liquides ne doit pas descendre au-dessous de 25°.

21. Pétrole ou huile lampante. — *Épuration.* — L'épuration de l'huile lampante recueillie entre 150° et 180° consiste en un traitement à l'acide sulfurique et à la soude. L'acide a pour but de déshydrater l'huile et de s'emparer des impuretés en formant un dépôt abondant de goudron. Pour favoriser la réaction, il est nécessaire de soumettre le mélange à un mouvement continu que l'on obtient au moyen de l'air sous pression à 1 ou 2 atmosphères. Le réservoir en tôle doublé de plomb (*fig.* 17), d'une contenance de 200 mètres cubes, est disposé verticalement; dans le fond il reçoit une tuyauterie percée de nombreux orifices par où s'échappe l'air comprimé. L'acide à 66° est envoyé en trois fois à raison de 1 à 3 0 0 avec l'air comprimé. Après chaque réaction, on sépare, au moyen d'un tuyau de vidange dans le fond du réservoir, les résidus acides qui se sont déposés sous forme de boue.

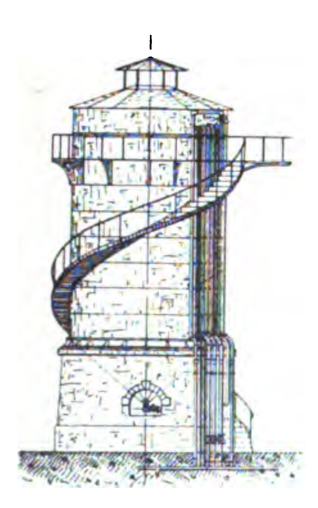


Fig. 17. — Agitateur à air comprimé.

L'opération est terminée lorsque le pétrole ne brunit plus et que sa température, qu'on doit maintenir dans le voisinage

de 17°, n'augmente plus. La durée de cette épuration n'est que de deux heures environ. Lorsque le battage à l'acide est complet, le pétrole a une couleur jaune paille caractéristique. On le lave à l'eau sous pression; ce battage dure quatre à cinq heures. C'est alors qu'intervient la solution de soude caustique à 12° B. qu'on introduit dans la proportion de 1 0/0; après une demi-heure d'agitation du mélange par l'air comprimé et un dernier lavage, l'épuration est terminée. Le raffinage des pétroles russes nécessite des lessives de soude à 30-33° B., et le lavage à l'eau a lieu avec une légère addition de soude à 6° B.

L'huile lampante, parfaitement limpide, est recueillie dans de grands réservoirs en tôle peu profonds et découverts pour être exposés à la lumière. Cette dernière a pour effet de blanchir le pétrole tout en lui donnant du brillant. A Bakoû, pour les divers déplacements, on a 112 pompes pouvant transvaser plus de 15.000 mètres cubes à l'heure; le développement des conduits est de 65 kilomètres alimentant 73 chaudières à vapeur.

Propriétés. — Le liquide ainsi obtenu est d'une couleur blanche ou légèrement jaunâtre, d'une odeur moins forte que celle du pétrole ordinaire. Lorsqu'il s'agit de pétrole d'Amérique, la densité à 15° varie entre 0,780 et 0,810. Ne renfermant plus d'essence, il ne doit pas s'enflammer audessous de 35°. Essayé à la lampe type (§ 17), la consommation doit s'élever en quatre heures à 150 grammes environ. Les pétroles russes ont, comme densité à 15°, 0,825; ils s'enflamment au-dessus de 35° et donnent à la lampe une consommation de 140 grammes. Il est indispensable que l'huile lampante renferme fort peu de composés sulfurés ou de sels de soude qui ont pour effet de carboniser les mèches.

On doit, pour les pétroles d'éclairage, pouvoir déterminer le degré d'inflammabilité. L'essai peut se faire de deux façons, suivant qu'on se propose de connaître le degré de chaleur auquel les vapeurs mélangées à l'air font explosion et s'éteignent aussitôt (*point éclair*), ou bien celui où ces vapeurs prennent feu et continuent de brûler (*point de*

combustion). Il y a deux séries d'appareils ou naphtomètres permettant cette détermination.

22. Naphtomètres. — L'appareil *Granier* (*fig.* 18) employé pour la fixation du point éclair comporte un cylindre en cuivre A rempli de pétrole jusqu'au niveau d'un petit tube déversoir *a* placé excentriquement. Au milieu se trouve un cône B sur lequel on fixe une mèche *b* plongeant dans le liquide. La boîte est fermée par un couvercle *c* muni d'un opercule avec orifice *o* en son milieu. Enfin, un thermomètre placé dans une gaine donne la température aux différentes périodes de l'essai. Le récipient étant plein de liquide, on ferme le couvercle et l'opercule et on chauffe au bain-marie. L'essai consiste à enflammer la vapeur par l'orifice pratiqué dans l'opercule; on note la température à laquelle la flamme obtenue demeure persistante. Il peut se faire qu'elle s'éteigne ; dans ce cas, l'opercule étant ouvert, on met le feu à la mèche et on voit à quelle température une petite explosion en se produisant éteint la mèche enflammée, c'est le point éclair. Si l'extinction a lieu au-dessous de 34°, il faut recommencer trois fois l'essai et en prendre la moyenne.

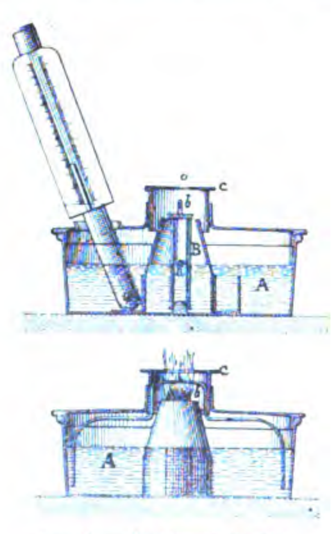


Fig. 18. — Naphtomètre Granier.

Le naphtomètre *Abel* (*fig.* 19) est différent. Il est formé par un réservoir en laiton A contenant le pétrole dans un bain-marie B. Le réservoir repose sur le bain-marie par l'intermédiaire d'une plaque en ébonite *b*, il est fermé par un couvercle *c* à trois orifices pouvant être ouverts ou bouchés par le jeu d'une coulisse. Au-dessus, on dispose une petite lampe à huile

de colza à mèche horizontale *l* pouvant basculer et présenter sa flamme au-dessus des ouvertures. Un thermomètre distinct donne la température du bain et du réservoir. Pour faire un essai, le réservoir rempli de liquide jusqu'à une certaine hauteur marquée par un index est chauffé dans le bain-marie; dès que la température atteint 19°, on tire la coulisse de manière à ouvrir les orifices du réservoir fermés au préalable, la lampe à huile de colza bascule et présente sa flamme au contact des vapeurs qui s'échappent. On recommence l'opération de degré en degré jusqu'à l'extinction, c'est le point éclair. La longueur de la flamme doit être de 3 à 4 millimètres et son contact avec les vapeurs ne doit durer que quelques secondes. Les indications de cet appareil sont plus approchées de 1 à 5° que celles du naphtomètre précédent à réservoir ouvert.

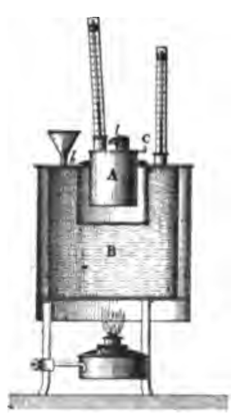


Fig. 19.— Naphtomètre Abel.

Il a été rendu plus précis encore par M. Pinsky. Ce nouvel appareil, désigné sous le nom de naphtomètre *Abel-Pinsky*, a son obturateur mû par un mouvement d'horlogerie. Dès que le thermomètre indique qu'il y a lieu de faire un essai, on presse un levier qui déclenche l'obturateur; la lampe s'incline et la flamme s'éteint si on a atteint le degré d'inflammabilité. Il faut avoir soin de relever la température au moment de l'extinction de la flamme. Les essais peuvent avoir lieu de demi-degré en demi-degré. On doit répéter l'essai correspondant à l'explosion trois fois consécutives et en prendre la moyenne. Un essai n'est acceptable que s'il ne diffère du précédent que par un degré et demi au plus. On peut, pour plus de précision, faire la correction barométrique au moyen de tables accompagnant l'appareil; enfin, de temps à autre, on doit s'assurer au moyen d'un gabarit que tous les organes sont bien en place.

Les pétroles ordinaires rectifiés ont leur point éclair voisin de 45° (Granier) ou 43° (Abel), correspondant à une

densité de 0,785; les pétroles dits de luxe, de densité 0,790, ne s'enflamment que vers 55°. Il n'y a pas de relation entre le point éclair et la densité; on peut, en effet, corriger la densité d'un pétrole en l'additionnant d'essence ou d'huile lourde et obtenir des degrés d'inflammabilité tout à fait différents.

On peut se contenter de déterminer la tension de vapeur du pétrole au moyen de l'appareil spécial de Salleron et Urbain, qui n'est autre qu'un récipient chauffé au bain-marie de manière à pouvoir faire varier la température qu'un thermomètre indique à chaque instant; un manomètre donne la tension correspondante qu'il suffit de rapprocher des chiffres d'un tableau dressé au préalable avec une huile connue.

L'essai des pétroles se complète des renseignements fournis par une lampe permettant de déterminer la consommation horaire et le pouvoir éclairant correspondant. On peut, en outre, au point de vue chimique, s'assurer que le pétrole ne contient pas de produits sulfurés. Il suffit pour cela d'enflammer un mélange de 5 centimètres cubes d'huile, 2 centimètres cubes d'ammoniaque et quelques gouttes de nitrate d'argent, le liquide ne doit pas noircir. Additionné de son volume d'acide sulfurique, la température ne doit s'élever que de 5 à 10° si le pétrole est pur; s'il est mélangé d'huile de schiste ou de lignite, elle atteint 50°.

23. Huiles lourdes. — L'huile lourde de densité 0,910 qui reste après la distillation des huiles lampantes a un aspect noirâtre à reflets plus ou moins fluorescents; elle renferme une grande variété de produits. Celle d'Amérique est riche en paraffine, ce qui la rend moins visqueuse que celle de Russie, qui contient des huiles propres au graissage ne faisant qu'épaissir aux très basses températures sans se solidifier.

La matière est soumise à la distillation dans des chaudières de 10 à 12 mètres cubes ou *black pots*. Elles ont la forme d'un cylindre vertical terminé par un fond sphérique de 8 à 10 centimètres d'épaisseur (*fig.* 20). Les vapeurs sont condensées dans des serpentins plongeant dans l'eau froide ou simplement exposés à l'air. On peut classer les produits

obtenus en plusieurs catégories variables avec l'origine des huiles traitées.

1° Ceux qui passent tout d'abord sont relativement assez légers pour être ajoutés à du pétrole brut, en vue d'en retirer l'huile lampante; cette addition ne s'applique qu'aux huiles américaines (0,836); celles du Caucase, qui nécessitent l'intervention de vapeur surchauffée vers 155°, donnent une huile dite solaire (0,850 à 0,880), peu inflammable, d'une odeur désagréable, qu'on brûle soit dans des lampes spéciales, ou qu'on utilise pour l'enrichissement du gaz et plus simplement encore comme combustible en l'ajoutant au mazout;

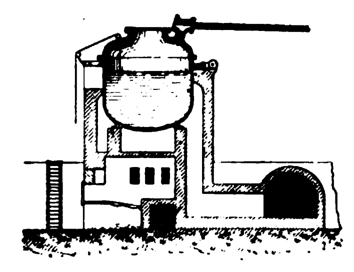


Fig. 20. — Black pot.

2° La seconde catégorie est la plus importante. Avec les pétroles d'Amérique, on obtient les huiles à paraffine (0,870); abandonnées dans des cuves à — 3°, elles se prennent en une masse qui, comprimée, donnera de l'huile lubréfiante propre au graissage; le résidu solide est de la paraffine impure.

Ceux du Caucase donnent des huiles de graissage ne s'oxydant pas, dont la densité, après traitement à l'acide sulfurique et à la soude, est de 0,880 à 0,930, et le point de fusion à 24°.

3° Si on pousse la distillation vers 400°, on obtient des carbures renfermant de la paraffine et de la vaseline, qui est un corps gras, blanc et fluorescent, lorsqu'il a été épuré. La distillation est accompagnée de gaz permanents, d'hydrocarbures légers propres à l'éclairage et enfin, comme résidu, il reste dans la cornue un coke noir à reflets rougeâtres; il est très léger et d'une très grande pureté (97 0/0 de carbone). Très souvent, on ne pousse pas la distillation jusqu'au coke et la matière presque solide, ou goudron, est brûlée directement.

§ 3. — Huiles de schiste et de lignite

24. Fabrication. — Le schiste est une substance solide, de densité voisine de 1,2, se présentant sous la forme d'une masse amorphe noire ou colorée. Soumis à la distillation en vase clos, il donne naissance à des gaz permanents et à un produit liquide qui, épuré, constitue l'huile de schiste analogue au pétrole; le résidu de la distillation est une substance solide presque exclusivement composée de matières minérales.

Les gisements de schiste appartenant au terrain permien, qu'on rencontre en France et en Ecosse, se présentent sous forme de bancs souterrains de $1^{m},50$ à $2^{m},50$ d'épaisseur. Leur profondeur variant de 60 à 100 mètres, l'exploitation peut se faire par puits d'extraction ou par galeries à ciel ouvert. L'abatage se fait au pic et à la dynamite et les blocs obtenus sont amassés dans un parc de triage où on sépare le schiste du boghead et de la gangue. Le schiste est ensuite concassé en morceaux de 0,5 à 1 décimètre cube et envoyé au moyen d'un distributeur à courroie devant les batteries de fours. Dans ce but les cornues sont disposées sur deux rangées parallèles, entre lesquelles circule le distributeur.

La distillation du schiste se fait de deux façons désignées sous le nom de procédés français ou écossais. La cornue française (*fig.* 21) est formée par un parallélipipède en fonte de $3^{m},50$ de haut sur $1^{m},50$ de long et $0^{m},40$ de profondeur, encastré dans un massif en maçonnerie. Elle est munie de trois orifices, deux dans le haut pour la charge et l'évacuation des produits volatils et un dans le bas E pour la décharge des matières incombustibles qui tombent dans le foyer situé au dessous. Le foyer lui-même est fermé dans le bas par une porte à deux vantaux *p*, *p*, de manière à faire tomber les résidus solides dans des wagonnets de $1^{m3},5$ de capacité, circulant dans une galerie souterraine. Le foyer, de $1^{m},50$ de haut sur 1 mètre à $1^{m},10$ de section, est alimenté simultanément par les gaz incondensables et par les résidus de l'opération précédente. Chaque cornue a son foyer et sa cheminée en tôle *b* de quelques mètres de hauteur.

La durée d'une distillation est de vingt-quatre heures; pen-

dant les quatre premières heures, on recueille d'abord de la vapeur d'eau seule, puis chargée de produits ammoniacaux, que l'on condense dans un premier serpentin entouré d'eau froide, d'où elle s'écoule dans un récipient clos. De la quatrième à la douzième heure, la vapeur d'eau fait place à de l'huile qui distille en majeure partie; de la douzième à la

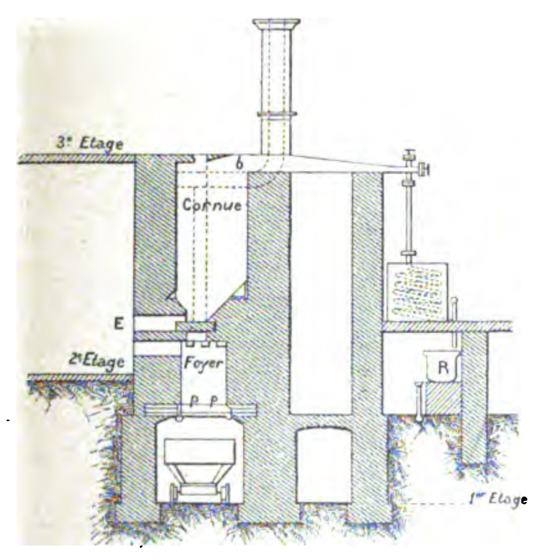


Fig. 21. — Cornue française.

vingtième heure, la proportion va ensuite en diminuant, la vapeur d'eau réapparaissant. Les huiles sont condensées dans des serpentins et s'écoulent dans des réservoirs spéciaux R; les gaz incondensables sont conduits aux foyers des cornues par une canalisation étanche. Très souvent, tous les récipients d'huile ou d'eaux ammoniacales sont réunis entre eux par une conduite qui permet d'amener ces produits à des réservoirs collecteurs.

Dans la méthode écossaise (*fig.* 22), on a une sorte de gazogène chauffant 4 fours à schiste, analogues à des fours à chaux, groupés autour du gazogène. Celui-ci est formé par deux

cornues tronconiques C, C en terre réfractaire d'une hauteur de 9 mètres. Il est chargé par le haut de combustibles de qualité inférieure et l'oxyde de carbone formé est amené dans les carneaux des massifs des fours à schiste où il se mélange à de l'air préalablement chauffé dans les parois aa_1 du gazogène. Chaque four à schiste est formé de deux cornues cylindriques superposées; celle du bas DD_1, de $5^m,50$, est en

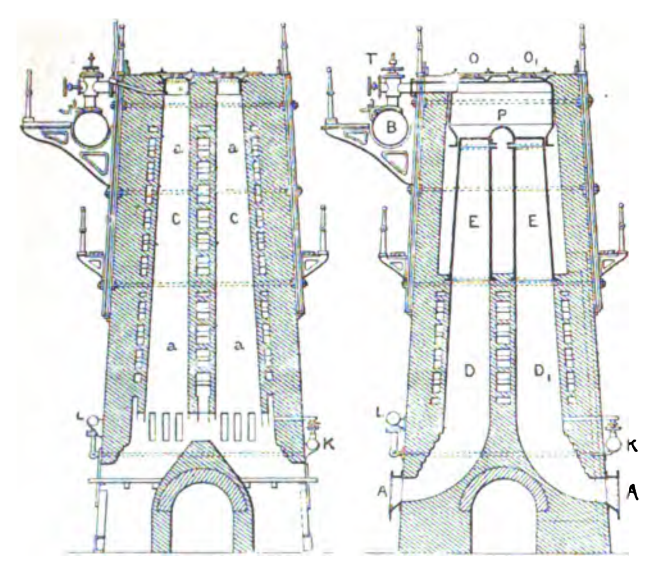


Fig. 22. — Distillation écossaise.

terre réfractaire, et celle du haut E, E, de $5^m,50$ en fer, débouche dans un caisson P commun à deux fours voisins. Le caisson est muni de deux ouvertures O, O_1 pour la charge des deux fours accolés, et d'une tubulure T pour l'évacuation des produits distillés dans le collecteur B. La partie inférieure du four en col-de-cygne est munie d'une porte A pour le déchargement du schiste distillé.

Les gaz permanents non condensés sont ramenés à la partie inférieure des carneaux, où ils se mélangent à l'oxyde de carbone.

Le chauffage se fait à une température très élevée, 800 à 1000° ; de plus, on introduit au bas du four, L, dans la masse, de la vapeur d'eau surchauffée à 107° et à la pression de $1^{at},5$, de manière à décomposer sur place les composés lourds et à enlever les dernières traces de produits volatils.

La durée d'une distillation est de trente-six heures, correspondant à la production de 1.500 kilogrammes d'huile par jour. Il faut compter, par tonne de schiste distillée, 180 kilogrammes de charbon et 380 litres d'eau. Toutes les vingt-quatre heures, on renouvelle en partie le schiste ; la capacité d'une cornue étant de 2 mètres cubes, la quantité de matière traitée est de 2.100 à 2.300 kilogrammes de schiste.

Les vapeurs à la sortie des fours passent dans un réfrigérant à air présentant une surface de 20 mètres carrés par tonne de schiste distillée en vingt-quatre heures, puis dans un condenseur où l'on recueille les produits de 0,857 de densité. Après avoir circulé dans un deuxième réfrigérant, les vapeurs passent ensuite dans un condenseur, y déposant les produits de 0,775 de densité ; enfin, les gaz permanents sont envoyés dans des condenseurs à coke, où ils sont mis successivement en contact avec de l'eau, de manière à retenir les composés ammoniacaux, et avec des huiles lourdes, pour absorber les hydrocarbures solubles.

Un mètre cube de schiste de 1.100 à 1.200 kilogrammes donne :

	Cornue française	Cornue écossaise
Huile lampante........	40 à 70^{lit}	100 à 125^{lit}
Eau ammoniacale......	30 à 65	70 à 150
Gaz permanents.......	25 à 30^{m3}	»
Paraffine	»	10

25. Raffinage. — Les chaudières où l'huile brute doit être redistillée sont de forme horizontale, analogues aux chaudières à pétrole. Elles peuvent être chauffées à feu nu ou par un chauffage combiné à feu nu et à la vapeur. L'huile brute est soumise à une première distillation où elle est fractionnée en huile de densité 0,830 et en produits secondaires, huile verte 0,838 et goudron 0,960 utilisés directement. L'huile est épurée à l'acide sulfurique et à la soude dans des batteuses

de 3 mètres cubes en tôle d'acier de 6 millimètres; les batteuses sont superposées, celles à l'acide au-dessus de celles à soude; l'agitateur est formé par deux tambours à ailettes hélicoïdales tournant en sens inverse. Après cette première épuration, l'huile est soumise à une nouvelle distillation de soixante heures : elle donne de l'huile lampante de 0,810 qui, épurée comme précédemment, sert à l'éclairage, et de l'huile lourde qui sera encore redistillée pour donner un nouveau produit de densité 0,840 qu'on ajoute à l'huile lampante précédente de manière à avoir une huile moyenne de 0,815. Dans chaque distillation, on obtient, outre l'huile lourde, du goudron et un certain déchet.

En résumé, chaque mètre cube d'huile brute donne pour les schistes français : 350 à 364 litres d'huile lampante à 0,812; 10 litres d'huile lourde pour éclairage à 0,870; de l'huile lourde à 0,880, 7 à 20 litres; des résidus ou huile verte pour le gaz, 20 litres environ, et des goudrons. Les schistes écossais donnent un peu plus d'huile lampante, 500 litres, y compris un peu d'essence à 0,700; de plus, on retire des huiles lourdes, 100 kilogrammes de paraffine, et 2.900 litres d'eaux ammoniacales.

26 Huile de lignite. — En Saxe on distille du lignite, c'est-à-dire une substance amorphe à cassure conchoïdale ou terreuse, d'une couleur variant du jaune au noir et d'une densité comprise entre 0,5 et 1,25. La couche de lignite à Weissenfelds se présente sous une épaisseur de 20 mètres environ; l'exploitation se fait à ciel ouvert par gradins ou par puits de 10 mètres de profondeur.

La distillation a lieu dans un four à cuve de 7 mètres de haut, 1^m,60 de diamètre, qu'on chauffe en partie avec du lignite et avec des gaz permanents; on distille environ 3 tonnes de matière par jour. L'huile obtenue, de densité 0,870, est à moitié solide à la température ordinaire. Elle est raffinée dans le vide à la pression de 40 centimètres de mercure; l'opération dure huit heures environ. On obtient 30 0/0 d'huile de densité 0,860 et 55 0/0 d'huile paraffineuse; il faut compter 250 kilogrammes de houille par tonne d'huile brute.

Les produits sont épurés à l'acide sulfurique et à la soude,

le battage se fait à l'air comprimé. La soude enlève les composés créosotés. Chaque produit et les résidus sont fractionnés à leur tour de manière à obtenir finalement des huiles d'éclairage, des huiles lourdes, de la créosote et du coke.

Les huiles de schiste et de lignite sont antérieures au pétrole; elles datent de 1842. A cette époque Selligues et Ménage imaginèrent le procédé de fabrication actuel et la lampe à schiste; mais, par suite de l'énorme production du pétrole, leur emploi ne s'est guère développé et leur existence précaire n'est sauvegardée, tout au moins en France, que grâce aux droits de douane dont les pétroles sont frappés.

CHAPITRE III

ÉCLAIRAGE AUX HUILES MINÉRALES

---

§ 1. — Éclairage a l'essence

A. — Lampes a mèche

27. Préliminaires. — Dans l'éclairage aux huiles minérales, les appareils employés varient avec la nature du liquide. Il est évident que la même lampe ne saurait servir indifféremment pour l'essence ou l'huile lourde : dans le premier cas, la volatilité dispense de tout mécanisme ; dans le second, au contraire, il faut recourir à un artifice pour produire la combustion.

En ce qui concerne les parties les plus légères de l'huile minérale, comme la gazoline (0,650) par exemple, il suffit de faire passer un courant d'air au travers pour obtenir un composé éclairant : c'est le principe de la fabrication du gaz à l'air (Voir *Gaz spéciaux*). Pour des liquides plus denses, comme l'essence (0,700 à 0,710), on a recours à un procédé très simple qui consiste à enflammer directement les vapeurs qu'ils émettent à la température ordinaire. Tous ces divers modes d'éclairage nécessitent quelques précautions, par suite même de la grande volatilité des matières employées. Depuis quelque temps on applique l'essence à l'éclairage par incandescence; les résultats sont très satisfaisants.

28. Lampes à essence. — Dans ces appareils, on utilise directement l'essence minérale du commerce sans mécanisme

spécial. La lampe comporte un réservoir rempli d'une matière spongieuse, comme du feutre, de la bourre, du coton et même de la pierre ponce. La mèche pleine, en coton, remplit le bec cylindrique vissé au-dessus du réservoir; elle descend jusqu'au fond du récipient. L'alimentation se fait par simple contact de la substance imbibée d'essence avec la mèche. Il faut avoir soin de bien remplir le réservoir et d'essuyer tout l'excédent de liquide qui pourrait couler. Dans ces conditions, il n'y a plus aucun risque d'incendie; la lampe peut être retournée sans danger.

L'appareil type de ce genre est la lampe *Pigeon*, si répandue et dont les modèles sont variés suivant les besoins. Elle ne peut guère servir que pour les éclairages de faible intensité. On compte 6 grammes d'essence par bougie-heure, et, comme le réservoir contient 70 à 90 grammes, on voit que la durée d'éclairage peut atteindre quinze heures environ. Il faut avoir soin de se servir exclusivement d'essence; ce liquide se différencie en particulier du pétrole en ce qu'il ne laisse pas de tache sur le papier. L'emplissage du réservoir doit se faire le jour, à l'abri de tout corps incandescent. Il faut fermer la lampe lorsqu'elle est éteinte pour éviter toute évaporation.

On donne à la lampe à essence une forme assez originale, se rapprochant beaucoup de celle de l'applique à gaz ordinaire, et pouvant servir plus spécialement à l'éclairage en plein vent. Un réservoir ayant la forme d'un cylindre horizontal aplati contient environ un demi-litre d'essence ou de gazoline. Il est rempli d'une substance spongieuse qui s'imbibe du liquide. Dans le bas, ou dans le milieu, débouche un tube fermé à son extrémité par un disque plein; il renferme une mèche fortement comprimée. L'extrémité du tube, près du disque, est percée de trous par où s'échappe l'essence; une fois en marche, tous ces trous mesurant un dixième de millimètre laissent échapper autant de dards qui, en se réunissant, constituent la flamme. Pour faire l'allumage, il faut avoir soin, au préalable, de chauffer légèrement l'extrémité du tube pour vaporiser l'essence. Généralement on laisse cette flamme exposée au vent; on peut cependant l'entourer d'un globe en verre qui augmente sa fixité. La lumière qu'elle donne est très faible et très irrégulière. L'introduction du

liquide se fait par une ouverture placée à la partie supérieure du réservoir fermé par un bouchon à vis. La durée de l'éclairage peut être de douze à quinze heures.

29. Lampe Phare. — On a essayé longtemps d'employer directement l'essence dans les lampes à pétrole ordinaire avec cheminée; quelques-unes même donnaient un éclairage d'une certaine intensité. Il convient de citer à ce sujet la lampe *Phare*, dont on rencontre encore de nombreux exemplaires. Elle comporte une série de mèches pleines disposées en couronne. Chaque mèche ronde est enfermée dans un tube en laiton évidé dans la partie plongeant dans le réservoir. Tous les tubes sont reliés entre eux et une crémaillère permet de les mouvoir ensemble. Un disque métallique horizontal ou champignon, placé au milieu de la flamme, force celle-ci à s'épanouir, tout en augmentant la combustion. Enfin, l'appareil se complète d'une cheminée en verre légèrement conique qui donne à la lumière une très grande fixité. Cette lampe, qui tient à la fois des lampes à pétrole et à essence, est dangereuse au point de vue de la manipulation et de l'emplissage. L'échauffement du liquide est très considérable et, si l'évaporation augmente, elle fait entendre un ronflement : on dit que la lampe s'emballe. Elle est, de plus, très délicate et nécessite de fréquentes réparations.

B. — Lampes auto-incandescentes et à manchons

30. Lampe Azur. — Cette lampe, d'où sont dérivées toutes celles à incandescence par l'essence, est basée sur le principe de la carburation de l'air, c'est-à-dire qu'au préalable, on prépare un mélange d'air et de gaz (essence vaporisée) qu'on enflamme ensuite dans un brûleur à gaz ordinaire. L'appareil comporte un récipient contenant de l'essence liquide, dans lequel plongent deux mèches pleines enfermées chacune dans un tube en laiton *a* (*fig.* 23). Les mèches s'élèvent à mi-hauteur dans les tubes, qui se soudent un peu au-dessus du réservoir. La partie commune se termine

par un ajutage *o*,pour l'échappement de l'essence vaporisée. Pour obtenir la volatilisation du liquide, il suffit de chauffer le tronc commun. Le jet de vapeur produit une aspiration et entraîne avec lui une certaine quantité d'air : on obtient ainsi facilement la carburation de ce dernier. Le mélange se rend alors dans un bec ordinaire à trous surmonté d'une cheminée en verre. Le chauffage de l'essence est obtenu au moyen d'une petite veilleuse *b*, placée sous l'ajutage, qui s'ali-

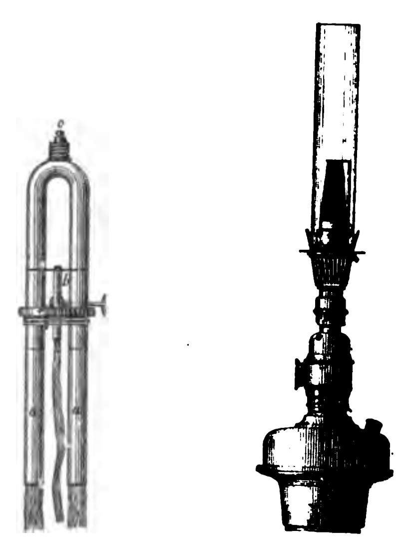


FIG. 23. — Lampe Azur.

mente directement dans le réservoir. Au moyen d'une clé à molette, on peut donner plus ou moins de flamme à la veilleuse et, par suite, régler le débit de l'ajutage. La mèche de la veilleuse étant seule soumise à la combustion, il est nécessaire de la remplacer de temps à autre.

Pour mettre en service l'appareil, il suffit d'enflammer la veilleuse de l'extérieur en ouvrant une glace ou regard situé latéralement sur la partie supérieure du réservoir. Au bout de deux ou trois minutes, le dégagement d'essence est suf-

fisant pour pouvoir donner, avec l'air, un mélange éclairant qu'on peut enflammer. La lumière obtenue a une intensité de $2^{carc},5$ pour une consommation horaire de 52 grammes d'essence.

On peut appliquer à cet appareil le principe de la récupération, c'est-à-dire que l'air admis à la combustion peut être chauffé au préalable au moyen de la chaleur des gaz de la cheminée ; la consommation descend alors à 45 grammes pour $2^{carc},5$. Le fonctionnement de la lampe Azur est très satisfaisant, elle ne présente aucun danger, si on a soin, bien entendu, d'appliquer les précautions les plus élémentaires ; l'emplissage doit se faire le jour au moyen d'un bidon spécial dont l'écoulement s'arrête automatiquement lorsque le réservoir est plein ; on n'a donc pas à craindre le déversement de l'essence.

31. Lampes à incandescence par l'essence. — Il n'y a que fort peu de chose à faire pour transformer l'appareil précédent en une lampe à incandescence : il suffit de remplacer le brûleur à trous par un bec bunsen et d'adapter un manchon au-dessus. La transformation réussit parfaitement, et l'on obtient un appareil très simple, identique au précédent. Il y a toujours deux tubes, munis de mèche pour l'ascension de l'essence, se soudant en un seul, au-dessus de la veilleuse de chauffage. L'orifice d'échappement débouche au-dessus d'une série d'ouvertures ménagées pour l'aspiration de l'air. On obtient, en quelque sorte en une seule fois, la préparation du gaz à l'air et son mélange intime pour pouvoir le brûler dans un bec bunsen ordinaire. Le manchon est suspendu au-dessus de la flamme par une petite potence (*fig.* 23). Au point de vue de l'intensité lumineuse, les résultats sont très satisfaisants ; avec une consommation horaire de $47^{gr},5$, on obtient un pouvoir éclairant de $4^{carc},57$, soit $10^{gr},4$ d'essence par carcel.

32. Lampe « la Polaire ». — Le système de cette lampe, breveté en 1895, consiste (*fig.* 24) en une chambre annulaire B appelée chambre de vaporisation, formée par deux tubes concentriques et fermés hermétiquement aux deux bouts.

De chaque côté du tube extérieur sont soudés deux autres tubes C, C en communication avec la chambre annulaire : ces tubes renferment les mèches capillaires baignant dans le liquide.

De l'intérieur de la chambre de vaporisation, part un tout

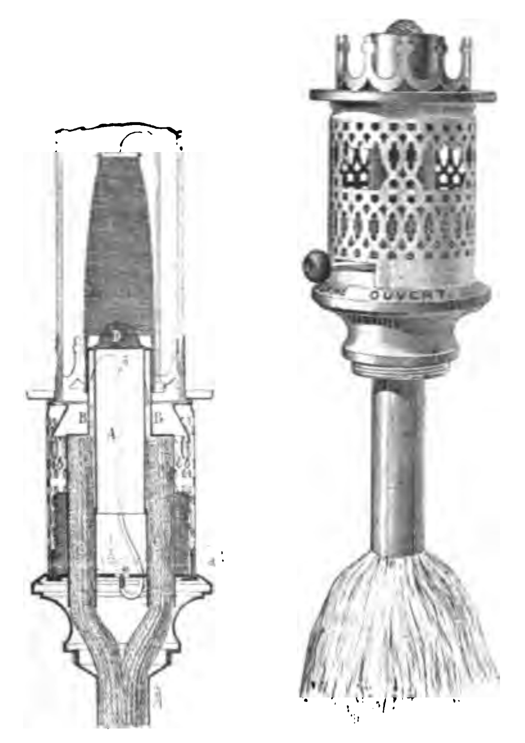


Fig. 24. — La Polaire.

petit tube *o* qui débouche à l'extérieur en se courbant pour que l'extrémité présente son orifice de sortie au niveau et au centre de la plaque sur laquelle est fixé tout le système. Ce petit tube forme éjecteur.

Si on chauffe le haut du tube B, qui est la tête du bec, le

liquide, amené par les mèches au contact de la chaleur, se transforme immédiatement en vapeur dans la chambre annulaire et passe dans le tube *o*, comme l'indiquent les flèches de la figure.

La vapeur d'essence, étant à une haute température, acquiert une tension suffisante pour obtenir la vitesse nécessaire à la sortie du tube éjecteur; à ce moment, elle se mélange avec l'air ambiant au centre du tube intérieur A.

Ce mélange d'air et de vapeur d'essence s'enflamme au-dessus de la grille D posée sur le sommet du grand tube en donnant une flamme bleue excessivement chaude qui porte à l'incandescence le manchon fixé sur la tête du bec. Cette lampe donne 4 carcels pour une consommation horaire de 50 grammes d'essence. L'extinction se fait au moyen du bouton *a*, qui fait mouvoir un obturateur se plaçant sur l'éjecteur.

§ 2. — Éclairage au pétrole

A. — Lampes à mèches

33. Préliminaires. — Pour obtenir avec le pétrole une lumière claire et brillante, il faut lui fournir de l'air en quantité suffisante, de manière à favoriser la combustion complète des carbures riches qu'il renferme. Actuellement, un très grand nombre de lampes réalisent cette condition. Les divers appareils diffèrent par la disposition du bec : en effet, pour la plupart, l'ascension du liquide se fait simplement par capillarité au moyen d'une mèche; exceptionnellement on a recours à un mécanisme spécial. Le réservoir étant placé à la partie inférieure, tous ces appareils ont une grande mobilité qui les rend propres à l'éclairage intérieur. Les principaux becs employés sont les becs ronds à mèche ronde, les becs ronds à mèche plate et les becs plats ; on leur a appliqué, avec succès, le principe de l'incandescence justifié par la puissance calorifique de la flamme du pétrole, d'où une nouvelle catégorie d'appareils.

On emploie toutes sortes d'huiles lampantes : les pétroles d'Amérique d'une densité voisine de 0,800 et les pétroles

russes plus lourds, 0,820, les huiles de schiste, etc. Leur degré d'inflammabilité est au-dessus de 40°, ce qui fait de l'éclairage au pétrole une source lumineuse inoffensive.

34. Lampe à bec plat. — Dans cet appareil, la mèche plate en coton tressé est enfermée dans une gaine métallique à section rectangulaire qui constitue le bec. Deux pignons, mus par une roue à molette extérieure, servent à régler sa hauteur. Ce brûleur, qui n'est autre que le bec plat des lampes à l'huile végétale, nécessite l'intervention d'un organe spécial pour l'admission de l'air. La flamme, au lieu de brûler directement dans l'air, débouche dans une capsule métallique (*fig.* 25) formant chambre de combustion. Une fente rectangulaire, percée sur le dôme de la capsule, laisse passer la partie éclairante de la flamme plate, assez semblable à celle d'un bec de gaz papillon. La chambre de combustion reçoit l'air par une série de trous ménagés sur la base de la capsule et sur la galerie du porte-verre. Les hydrocarbures gazeux rencontrent l'air admis dans la capsule et commencent à brûler en donnant une flamme bleue qui lèche les bords de la fente et les porte à une température élevée. Par suite du rétrécissement de l'orifice de sortie, l'air et les gaz se mélangent, et la combustion, à peu près complète, est encore favorisée par la décomposition des hydrocarbures au contact des bords de la fente. La capsule joue un très grand rôle et, suivant la position que l'on donne à la mèche dans la chambre, on voit l'allure de la flamme changer complètement. Une cheminée, renflée à la base pour pouvoir résister à l'action des pointes

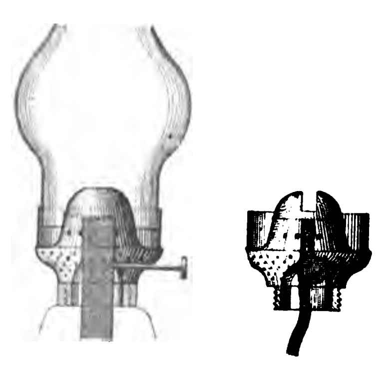
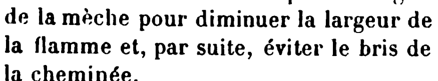


Fig. 25. — Lampe à bec plat.

de la flamme, augmente le tirage. La lumière obtenue est assez constante : un bec de 7 lignes, ou $15^{mm},82$, donne au commencement de l'essai $0^{carre},60$, et, quatorze heures après, $0^{carre},50$; la consommation horaire est de 22 grammes à l'heure. Le réservoir de ces lampes se fait en verre ou en laiton ; il a une forme très aplatie de manière à faciliter l'ascension du liquide. Il faut avoir soin de couper les angles


de la mèche pour diminuer la largeur de la flamme et, par suite, éviter le bris de la cheminée.

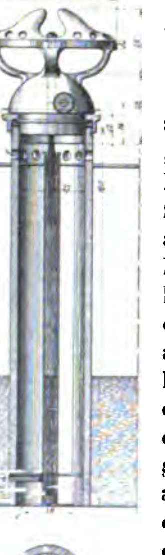




Fig. 26. — Bec de falot.

35. Lampe de falot. — On est arrivé à supprimer la cheminée, qui est un organe dispendieux, tout en conservant à la flamme sa grande fixité. Au chemin de fer du Nord, où ce système a été appliqué à l'éclairage avant et arrière des trains, la capsule est supportée simplement sur le bec par quatre branches laissant entre elles un libre accès à l'air ; elle présente à sa base des orifices largement ouverts, la fente elle-même est échancrée à ses extrémités. La mèche (*fig.* 26), mue par deux pignons, est enfermée dans une gaine rectangulaire formant réservoir auxiliaire qui communique avec le principal par l'intermédiaire d'un petit conduit. De cette façon, on a pu ménager un espace annulaire, à circulation d'air, empêchant tout échauffement du liquide. L'air pénétrant dans le bas de cette cheminée s'échappe à la partie supérieure par une série de trous circulaires. La flamme, peu éclairante par elle-même, est placée au foyer d'un réflecteur sphérique en tôle nickelée qui donne un faisceau lumineux très intense dont les rayons sont sensiblement horizontaux ; ce réflecteur porte, en outre, à sa partie supérieure, un orifice pour le passage des gaz de la combustion. Quant au réservoir, dont la contenance est de 1 kilogramme

environ, il ne présente rien de particulier; l'emplissage se fait par un orifice avec bouchon à vis.

Tout le système est enfermé dans une lanterne cylindrique qui peut se fixer au moyen d'un crochet contre la machine. Une des faces du cylindre horizontal est munie d'un disque en verre, blanc ou coloré suivant le cas ; cette face est mobile et sert pour l'allumage de la lampe; l'autre, pleine, est percée de deux trous qui laissent passer chacun une bride fixée au réservoir et dans laquelle on engage une clavette pour maintenir la lampe contre la lanterne. La flamme devant résister aux plus grandes vitesses, les prises d'air ménagées sur le corps de la lanterne et sur la face arrière sont recouvertes de brise-vent; le chapiteau mobile s'emmanche à baïonnette sur la cheminée qui surmonte la lanterne ; il laisse entre lui et la cheminée un espace annulaire pour l'échappement des gaz brûlés.

La consommation horaire de l'appareil est de 14 grammes pour une intensité de $0^{\text{carc}},40$ sans réflecteur (bec, 8 lignes, $18^{\text{mm}},08$). Un autre brûleur du même type, mais plus petit, $15^{\text{mm}},82$, appliqué aux signaux d'angle, donne $0^{\text{carc}},32$ pour une consommation de $12^{\text{gr}},5$. On n'a plus à craindre, grâce au courant d'air intérieur du réservoir, les incendies fréquents qui se produisaient avec des becs analogues (bec Lasky).

36. Lampe Shallis et Thomas. — Le pétrole a été appliqué à l'éclairage intérieur des voitures de chemins de fer; mais, pour diminuer les risques d'incendie en cas d'accident, le liquide employé est un pétrole lourd d'un degré d'inflammabilité très élevé. Dans la lampe *Shallis et Thomas*, le bec plat a sa flamme disposée horizontalement, de manière à supprimer toute ombre portée. Elle se trouve légèrement au-dessus du niveau du liquide, qui s'élève jusqu'à elle par capillarité. La forme en anneau plat du réservoir permet d'avoir un approvisionnement de pétrole suffisant pour les plus longs parcours. La flamme se trouve dans une chambre de combustion en tôle émaillée séparée du réservoir par une enveloppe de feutre qui empêche toute infiltration du liquide à l'intérieur. Au-dessus du réflecteur, une cheminée en tôle

évacue les produits de la combustion. L'ensemble du système est enfermé dans une lanterne analogue, comme principe, aux lanternes à huile, c'est-à-dire présentant vers le milieu des prises d'air empêchant tout mouvement de la flamme; mais, dans ce cas particulier, les orifices servent, en outre, à l'écoulement du liquide du réservoir en cas de renversement accidentel de ce dernier. A cet effet, des conduits verticaux soudés au réservoir débouchent tout près de ces trous. Une coupe en verre complète l'appareil.

L'emplissage et l'allumage de la lampe se font à l'atelier. On met deux lampes par compartiment, chacune ayant une intensité lumineuse un peu supérieure à 1 carcel. En dehors de la Compagnie d'Orléans, l'emploi de ces appareils ne s'est pas développé.

37. Lampe Hinks ou Duplex. — Les becs plats n'ont donné qu'une lampe intensive : c'est la lampe Hinks à deux

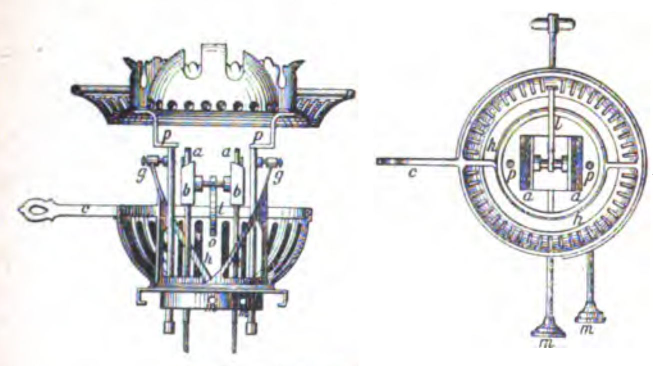


Fig. 27. — Lampe Hinks ou Duplex.

mèches. Elle comporte (*fig.* 27) deux becs plats *a* accolés l'un à l'autre et débouchant sous la même capsule percée de deux fentes parallèles pour le passage des flammes. Chaque mèche est mue par un pignon monté sur un axe différent *m*, *m* ou tous deux sur le même axe, mais ayant chacun un mouvement indépendant. Ainsi constituée, elle ne présente rien de spé-

cial, et son intensité lumineuse est sensiblement égale à la somme des pouvoirs éclairants de chaque bec pris séparément; mais le caractère principal, appliqué depuis à d'autres lampes, est la facilité avec laquelle on peut faire l'allumage ou l'extinction sans avoir besoin, pour cela, de toucher à la cheminée. Pour l'extinction, chaque mèche est entourée d'une enveloppe mobile *b*, que l'on peut mouvoir de l'extérieur au moyen d'un levier *l* dont le point fixe *o* se trouve sur la galerie. En appuyant sur l'extrémité de ce levier, on soulève les deux obturateurs qui, en interceptant l'air, produisent l'extinction. Ils se lèvent automatiquement si, par hasard, on vient à renverser la lampe; on supprime ainsi tout risque d'incendie. Pour l'allumage, la capsule et le porte-cheminée sont montés sur deux tiges pouvant se déplacer verticalement à frottement doux dans le corps du bec. Au moyen d'une clé, on imprime un mouvement de rotation à un levier qui soulève la galerie et laisse un passage pour l'allumage.

Dans la modification Messenger, chaque tige *p* (*fig.* 27) qui supporte la capsule et le porte-verre est munie d'un galet *g* reposant sur un plan incliné *h*. En imprimant un mouvement vers la droite aux deux plans inclinés par le moyen d'une clé *c*, on soulève les galets et par suite les tiges. Il suffit, l'allumage terminé, de ramener la clé vers la gauche pour redescendre tout le système. L'extinction se fait comme dans les appareils Hinks.

Ces divers détails ont fait le succès de ces lampes, dont les réservoirs montés d'une façon luxueuse donnent une grande valeur à ces appareils. La forme des flammes nécessite des cheminées renflées à la base avec une partie aplatie correspondant au plan des mèches. On obtient la carcel avec une consommation horaire de 36^{gr},4.

38. Lampes à courant d'air central. — *Lampe solaire.* — On désigne plus spécialement sous ce nom des appareils à bec rond dont le cylindre intérieur est prolongé jusqu'au fond du réservoir pour recevoir l'air par le bas. La mèche, ronde, assez épaisse, se place sur ce cylindre et plonge dans le liquide du réservoir. Le courant d'air externe pénètre par des trous ménagés sur la galerie du porte-verre.

Au-dessus du courant intérieur on dispose un disque horizontal, ou champignon, qui a pour but de rabattre le courant d'air sur la flamme, tout en réduisant le tirage. La construction en est fort simple ; de plus, ces appareils ont l'avantage de permettre en quelque sorte le dosage de l'air nécessaire à chaque courant. Leur emploi s'est généralisé rapidement, en particulier à l'étranger, où ils sont connus sous le nom de lampe *belge*, *française*, *universelle*, etc. Dans toutes ces lampes, lorsqu'elles ne sont pas suspendues, le fond repose sur son support par l'intermédiaire de trois petites sphères, laissant ainsi un libre passage à l'arrivée de l'air dans le tube intérieur.

Une des lampes de ce type, des mieux construites, est celle de M. Besnard. Le courant d'air extérieur est dirigé sur la flamme par un cône métallique. Un disque d'acier horizontal force le courant intérieur à arriver perpendiculairement sur elle. La cheminée présente au droit de la flamme une partie sphérique épousant la forme de cette dernière, de manière à pouvoir résister à la chaleur rayonnante très intense. Elle peut donner 4 carcels, avec une consommation horaire de 130 grammes, soit 32 grammes par carcel. La maison Besnard fabrique une lampe à courant d'air intérieur, dite lampe *solaire* à flamme en dessous. Dans le réservoir, ayant la forme d'un anneau aplati, plongent trois mèches plates amenant le liquide au bec rond placé en dessous de la face inférieure. Ces trois mèches n'amènent l'huile que pendant le fonctionnement de l'appareil. Pour n'avoir pas à les remplacer, on les met en contact avec une quatrième, ronde, qui est seule exposée à la flamme. Une cheminée en tôle active le tirage. Les prises d'air sont ménagées sur une galerie placée entre la cheminée et le réservoir, de manière à refroidir ce dernier; on règle les ouvertures au moyen d'une coulisse formant registre. Enfin, la flamme est entourée d'une coupe en verre destinée à recevoir les égouttures.

39. Lampe Rochester. — Des modifications importantes ont été apportées au type des lampes à courant d'air central. Dans le modèle *Rochester*, on se propose de refroidir le bec de manière à réduire l'évaporation du liquide et, par suite, la con-

sommation, tout en chauffant l'air nécessaire à la combustion.

Ce résultat est obtenu en remplaçant le disque horizontal des lampes précédentes par une toile métallique emboutie A (*fig.* 28). Le courant intérieur, en passant au travers des mailles, absorbe la chaleur au point de permettre de prendre le métal à la main; l'échauffement du réservoir F se trouve également diminué, la flamme ainsi obtenue est très blanche, très brillante. La galerie B, pour le courant d'air extérieur, est formée également par un treillis métallique. Enfin une dernière modification réside dans la manière de remonter la mèche; on n'emploie plus, comme précédemment, un pignon, mais une simple tige D, reliée à la mèche par un collier en laiton, fermé par une agrafe. Le reste de l'appareil ne présente rien de spécial; comme toutes les lampes d'origine américaine, elle est construite avec un grand luxe, ce qui rend son prix d'achat élevé.

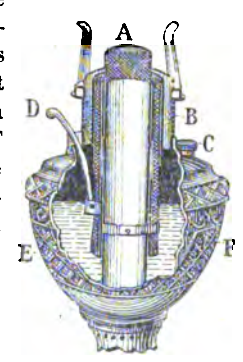


Fig. 28. — Lampe Rochester.

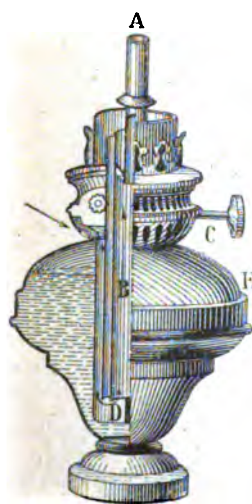


Fig. 29. — Lampe Sépulchre modifiée.

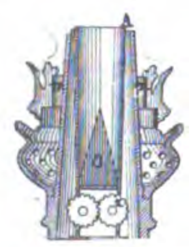
40. Lampe Sépulchre. — La lampe *Sépulchre*, de Liège, antérieure à la précédente, est basée sur le même principe. C'est toujours une lampe à courant d'air central, mais le cylindre intérieur se prolonge au-dessus du bec. La partie A (*fig.* 29), qui fait ainsi saillie, est percée de trous, le long des génératrices, amenant l'air chaud sur la flamme. Entre le bec et le réservoir, on intercale une chambre intermédiaire C destinée à diminuer l'échauffement du liquide du réservoir E. Elle reçoit, en outre, les vapeurs

émises par le pétrole et, pour en empêcher l'inflammation entre elle et le bec, se trouve une toile métallique. Le reste de l'appareil est analogue aux précédents: le mouvement de la mèche est obtenu au moyen d'un simple pignon ; un cône directeur envoie le courant d'air extérieur sur la flamme. Il faut, avec cette lampe, employer une cheminée à renflement sphérique au droit de la flamme.

M. *Aumenier* y a apporté quelques modifications (*fig.* 29) : au lieu de faire déboucher le cylindre intérieur B dans le fond de la lampe, il l'entoure d'un deuxième cylindre D, et l'air circule entre les deux. Le pétrole arrive à la mèche par l'intermédiaire de petits conduits horizontaux. Cette disposition a comme avantage de diminuer l'échauffement du liquide du réservoir ; par contre, elle réduit sa capacité.

Le rendement de tous ces appareils, dont les modifications ont pour but d'empêcher toute évaporation exagérée du pétrole, est sensiblement le même que celui des précédents; dans la lampe Sépulchre, on obtient la carcel avec 28 grammes de pétrole.

41. **Bec allemand ou Cosmos.** — Pour conserver les avantages du courant d'air intérieur, tout en supprimant le



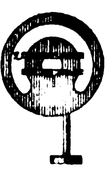


Fig. 30. — Bec allemand ou Cosmos.

prolongement du cylindre central dans le réservoir, on a imaginé un bec ayant la simplicité du bec plat et les avantages du bec rond : c'est le brûleur allemand ou Cosmos. Il est formé par deux troncs de cône concentriques A (*fig.* 30). La mèche plate, assez épaisse, a une largeur égale

à la circonférence de la section la plus étroite du brûleur, c'est-à-dire du haut A, de telle sorte qu'en cet endroit les extrémités se rejoignent et qu'elle a l'apparence d'une mèche ronde. L'enroulement de cette mèche est obtenu au moyen de quatre pignons z, mus par une molette extérieure; pour la mettre en place, il suffit de l'engager entre les deux troncs de cône; le double pignon intérieur, agissant en quatre points à la fois, lui donne un mouvement de descente et de montée très régulier. L'introduction de l'air intérieur est assurée au moyen d'une ouverture triangulaire O percée sur les deux parois du bec. L'air extérieur pénètre à travers les orifices de la galerie qui supporte la cheminée; il est dirigé sur la flamme par l'intermédiaire d'un cône directeur. Quant à la cheminée, elle est cylindrique avec un simple coude à la base; elle est plus haute que celle des lampes à huile. On peut, avec ce système, obtenir des intensités variant avec le diamètre du brûleur. Le grand avantage de cette lampe est son bon marché. La valeur du réservoir entre pour beaucoup dans le prix total de l'appareil. La mise en place de la mèche doit se faire soigneusement, de manière à ce que les extrémités se rejoignent bien et ne donnent pas de points fuligineux dans la flamme, ce que l'on peut éviter, du reste, en prenant une mèche cousue, dans le haut, sur $0^m,03$ environ de longueur.

42. Lampes à plusieurs mèches. — Pour conserver le bec rond, tout en supprimant le tube central, on a imaginé d'employer une mèche circulaire de faible longueur, sur laquelle viennent s'appuyer deux mèches plates qui plongent dans le réservoir au moyen de deux conduits verticaux, laissant entre eux un libre passage au courant d'air intérieur. Une bague métallique assure le contact des trois mèches. Les deux mèches plates amènent, par capillarité, le pétrole à la mèche ronde soumise seule à l'usure. En agissant au moyen d'un pignon sur la mèche ronde, on élève plus ou moins la flamme. Au-dessus de cette dernière, se trouve le champignon métallique destiné à augmenter la combustion. Quant à la cheminée, elle varie avec l'importance du brûleur; les plus petites sont cylindriques avec un simple coude, les

autres présentent un renflement sphérique. On obtient la carcel avec 32 grammes de pétrole à l'heure.

Au lieu d'avoir deux grosses mèches plates, M. *Ditmar* a imaginé de n'en avoir qu'une seule plus grande (*fig.* 31); le tube qui la renferme laisse une ouverture suffisante pour le passage du courant d'air intérieur. La petite mèche à tissu plus fin est maintenue au moyen de griffes, comme dans le bec à huile. La cheminée en verre est simplement coudée. La consommation des becs *soleil* Ditmar est de 65 grammes pour un brûleur de 16 lignes ($36^{mm},1$), et de 96 grammes pour celui de 18 lignes ($40^{mm},6$); le rendement lumineux est le même que précédemment.

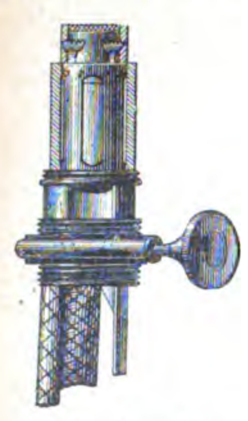


Fig. 31. — Lampe Ditmar.

L'inconvénient de ces lampes, pour des appareils qui doivent être simples, est leur complication relative, bien que cependant il ne faille remplacer les mèches intérieures qu'à de longs intervalles.

43. **Lampe mécanique Peignet-Changeur.** — Les divers appareils précédents nécessitent des réservoirs aplatis, par suite de l'impossibilité d'élever par capillarité le pétrole à plus de 30 centimètres de hauteur. On est obligé, pour placer la flamme assez haut, de les monter sur des supports dont la faible dimension contraste toujours avec le volume de l'appareil. Pour remédier à cet inconvénient, M. Peignet-Changeur a imaginé une lampe mécanique dite automatique. Le pétrole est aspiré d'un réservoir principal inférieur au moyen d'une pompe, puis refoulé dans un second réservoir supérieur plus petit renfermant le mécanisme et la mèche. La pompe, mue par un mouvement d'horlogerie, fonctionne suivant les besoins de l'alimentation. Un flotteur en liège, placé dans le haut du tube d'aspiration, arrête le mécanisme quand le réservoir est plein.

Cet appareil, si simple en théorie, laisse à désirer par suite

des fréquentes réparations qu'il nécessite. Le brûleur est le même que celui des appareils précédents, son rendement est identique; la mèche est entourée d'un tissu épais et lâche, ou garde-mèche, plongeant dans le liquide.

44. Lampe intensive à flamme en dessous. — On a imaginé récemment d'utiliser le pétrole à l'éclairage de grands espaces. Le problème a été résolu avec la lampe intensive dite l'*Éclatante*, dont la forme extérieure rappelle le récupérateur de Wenham (*fig.* 32). Le principe de cet appareil consiste à réduire le pétrole en vapeur au fur et à mesure des besoins de l'éclairage en se servant, à cet effet, de la chaleur des produits de la combustion.

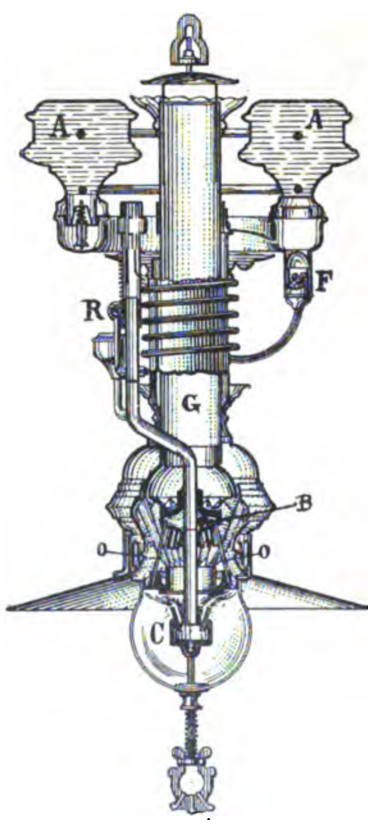


Fig. 32. — L'Éclatante.

Le liquide est enfermé dans un réservoir annulaire A placé à la partie supérieure. Il peut s'écouler, au travers d'un filtre F, le long d'un tube flexible qui le conduit, à raison de 90 gouttes environ par minute, dans une chambre B où il est vaporisé sous l'action de la chaleur fournie par le foyer même. Les vapeurs émises s'échappent par une série de tubes concentriques *o* dont l'orifice débouche à la partie supérieure d'une chambre close par une verrine sphérique. Ces vapeurs

étant enflammées brûlent au contact de l'air d'alimentation amené dans la verrine par un système d'enveloppes récupératrices; les produits de la combustion s'échappent dans une cheminée centrale G.

Le débit peut se régler au moyen d'un robinet R placé sur le tuyau de descente. Pour mettre la lampe en service, il faut pouvoir vaporiser tout d'abord une certaine quantité de pétrole en chauffant préalablement la chambre B.

A cet effet, on verse à l'aide d'un entonnoir E une petite quantité d'alcool qui s'écoule par le tube flexible, traverse l'appareil de haut en bas et vient tomber dans une petite cuvette C garnie de mèches d'amiante. On allume cet alcool et on ouvre le robinet R donnant accès au pétrole, celui-ci se trouve vaporisé dès son arrivée dans la chambre B ; sa flamme suffit pour entretenir la chaleur dans la chambre B, de sorte qu'il est inutile de renouveler l'alcool épuisé.

D'après les essais du Laboratoire de la Vérification du Gaz de la Ville de Paris, on obtient, avec une flamme moyenne, en brûlant du pétrole Oriflamme d'une densité de 0,785 :

Intensité verticale....	8^{carc},68	pour une consommation
Intensité à 45°......	7 ,63	horaire de 118 grammes

soit 15 grammes de pétrole par carcel-heure.

45. Organes des lampes. — *Bec.* — Les observations à faire sur les divers organes des lampes à pétrole sont sensiblement les mêmes que celles intéressant les appareils à huile.

En ce qui concerne les dimensions du bec, elles dépendent naturellement de l'importance de la lumière que l'on veut obtenir. L'épaisseur est subordonnée à celle de la mèche, dont l'ajustage doit se faire avec beaucoup de soin, de manière à ne pas laisser de vide pour la formation des gaz. Dans les becs ronds, la platine du tube intérieur doit être de 1 ou 2 millimètres plus élevée que celle du tube extérieur. On a, dans presque toutes les lampes, maintenu l'emploi du disque horizontal ou champignon et du cône extérieur pour augmenter l'action de l'air qui doit être admis en grande quantité. La construction des becs se fait en laiton, autant

que possible sans soudure, à cause de la température élevée à laquelle ils sont soumis.

Mèche. — Les mèches sont d'un tissu plus grossier que celui des mèches à huile, on les fait en coton tissé ; souvent, pour les mèches plates, le milieu est en soie, de manière à augmenter encore la capillarité. Le pouvoir ascensionnel du pétrole dépend de la capillarité et de la viscosité de l'huile ; mais il est fonction également de la rapidité de la combustion.

La hauteur à laquelle s'élève le liquide a été mesurée par MM. Engler et Levin ; ils ont obtenu la formule :

$$h = \frac{2\alpha}{rd},$$

dans laquelle : r est le rayon du tube capillaire servant à faire l'expérience ; d, la densité de l'huile ; α, un coefficient sensiblement constant et égal à 2,60. Les essais ont été faits avec des pétroles de provenances diverses ; les hauteurs obtenues ont été sensiblement les mêmes. Ils ont trouvé, au point de vue de la rapidité d'ascension, que la présence de carbures lourds diminuait cette vitesse, mais qu'elle baissait davantage avec la viscosité, ce qui revient à dire que les huiles du Caucase s'élèvent plus vite que celles d'Amérique. La durée d'ascension du liquide dans une mèche, à 15 centimètres de hauteur, est de dix minutes environ. Il faut, autant que possible, favoriser cette ascension ; dans ce but les fils de coton doivent être très longs ; de plus, le tissu ne doit pas être serré. Les mèches, parfaitement sèches, sont conservées à l'abri de l'humidité, qui diminue de beaucoup le pouvoir capillaire.

L'usure dés mèches est assez faible ; on a encore essayé de la diminuer en ajoutant au tissu des fils métalliques ou mieux en les faisant en amiante, comme dans le bec *Julhe* par exemple, où la partie de la mèche en contact avec la flamme est en carton d'amiante. L'allumage se fait très facilement et l'on n'a pas besoin de couper les bords de la mèche, il suffit d'essuyer la partie carbonisée.

Cheminée. — Le tirage doit être énergique : aussi les cheminées sont plus hautes que dans le cas des lampes à huile. Le diamètre doit, par contre, être aussi petit que possible, mais on est limité par l'échauffement considérable dû à la chaleur rayonnante. Il faut donner au verre une épaisseur constante pour permettre son chauffage régulier et empêcher le bris de la cheminée au moindre courant d'air. A ce point de vue, les cheminées cylindriques sont les meilleures. Dans le cas des becs avec champignon horizontal, la cheminée présente un renflement au droit de la flamme, qui peut s'épanouir librement. Pour les autres becs ronds, on se contente de la munir d'un coude pour activer la combustion. Les cheminées se font en cristal ou en verre double de première qualité.

Entretien. — L'entretien des lampes à pétrole nécessite quelques précautions spéciales. Il faut faire l'emplissage du réservoir pendant le jour, à l'abri de tout corps incandescent. On doit l'essuyer au moment de l'allumage, car le pétrole suinte toujours, quelle que soit la nature du récipient. Ce suintement, assez mal expliqué, du reste, est d'autant plus faible que le bec se visse mieux sur le réservoir. Il provient en partie des vapeurs émises par le pétrole, vapeurs qui se condensent ensuite le long de l'appareil. Outre sa malpropreté, il a l'inconvénient de dégager pendant le fonctionnement de la lampe une odeur désagréable.

Le réservoir doit être rempli complètement; sinon il reste au-dessus du liquide une chambre où les vapeurs peuvent s'enflammer et faire explosion. Aussi les lampes présentant un réservoir intermédiaire ou une toile métallique donnent-elles une plus grande sécurité.

La mèche, une fois allumée, ne doit être élevée que progressivement pour permettre à la fois la dilatation de la cheminée et l'augmentation régulière de la flamme. Cette dernière ne doit être ni trop rouge ni trop blanche. Dans le premier cas, la combustion est incomplète, et il y a dégagement d'odeur désagréable ; dans le second, le tirage est trop actif et la mèche ne tarde pas à charbonner.

Il faut avoir soin, de temps à autre, de vider le réservoir;

le pétrole étant un mélange de carbures, les plus fluides s'élèvent les premiers; il reste dans le fond de l'huile lourde qui ne monte plus et qu'on doit remplacer.

Malgré les grandes améliorations du raffinage, le pétrole doit être considéré comme très inflammable; aussi ne faut-il jamais remplir le réservoir pendant le fonctionnement de l'appareil.

L'extinction de la flamme se fait en soufflant dessus, après l'avoir diminuée; en baissant la mèche brusquement, on risque de mettre le feu aux vapeurs qui surmontent le liquide. Les dispositifs adoptés pour l'extinction mécanique ne présentent aucun danger. Enfin, dans le nettoyage de l'appareil, il faut éviter de laisser tomber des déchets carbonisés ou autres dans les prises d'air, sous peine d'avoir une flamme inégale et fumeuse aux endroits obstrués.

B. — Lampes a manchons incandescents

48. Généralités. — L'emploi du pétrole pour la production de l'incandescence des manchons se justifie par sa grande puissance calorifique (10.000 à 10.500 calories au kilogramme) et son faible degré d'inflammabilité (40 à 55°).

Le principe de la lumière à incandescence par le pétrole consiste dans l'emploi d'un mélange déterminé d'air et de pétrole vaporisé qu'on enflamme pour porter à l'incandescence un manchon Auer. D'assez sérieuses difficultés se présentent en pratique, car, le pétrole étant un liquide composé de différents hydrocarbures, sa vaporisation est en quelque sorte une distillation qui fait que les produits obtenus changent à chaque instant, d'où variation de la flamme; d'autre part, des particules solides peuvent, à l'improviste, obturer l'éjecteur des lampes.

Pendant ces dernières années de sérieux perfectionnements ont été apportés dans la construction des lampes à incandescence par le pétrole vaporisé.

Nous décrirons les plus avantageusement connues.

47. Lampe Hantz. — La lampe *Hantz* (*fig.* 33) se compose d'un réservoir divisé en deux chambres : la chambre inférieure renferme de l'air que l'on comprime au moyen d'une pompe indépendante, par l'intermédiaire d'une valve V ; la chambre supérieure contient le pétrole introduit par le bouchon B ; elle communique avec le réservoir d'air comprimé par l'intermédiaire d'un tube central. Un détendeur, placé à la partie inférieure de la lampe, sert à régler la pression.

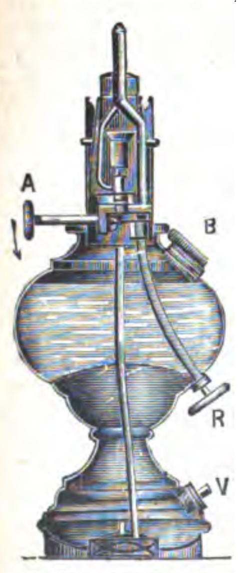


Fig. 33. — Lampe Hantz.

Le tube d'ascension du pétrole, légèrement recourbé et perforé à sa base, plonge jusqu'au fond de la chambre supérieure, de manière à utiliser presque entièrement la provision de pétrole qui est suffisante pour une marche de quatorze heures. Ce tube est muni d'un robinet à pointeau R.

La partie supérieure du tube d'ascension du pétrole aboutit, dans une chambre annulaire, à un raccord qui le prolonge jusqu'au bas d'une tige en cuivre rouge soumise à l'action de la flamme. Par conductibilité cette tige s'échauffe : le pétrole est vaporisé, et les vapeurs, descendant par un petit tube représenté à gauche de la figure, pénètrent dans une sorte de bunsen disposé au centre de la chambre.

Le mélange d'air et de vapeurs de pétrole est enflammé au-dessus d'une toile métallique supportant un manchon du type Auer entouré d'une cheminée en verre.

Le nettoyage de l'orifice d'ajutage est assuré par une aiguille placée au centre et mue par un levier extérieur commandé par un bouton A.

L'allumage de cette lampe est assez délicat et long : après avoir comprimé l'air du réservoir, on introduit sous le brûleur des tampons d'amiante imbibés d'alcool et on échauffe

ainsi le brûleur pendant deux ou trois minutes; puis, ayant ouvert le robinet R, on manœuvre, au moyen du bouton A, l'aiguille fermant l'ajutage, et on allume.

Les résultats d'essais photométriques effectués au laboratoire du Service de l'Éclairage de la Ville de Paris ont accusé pour cette lampe une intensité lumineuse horizontale de 26^{carc},8 pour une consommation horaire de 125 grammes de pétrole. Ce rendement est très satisfaisant.

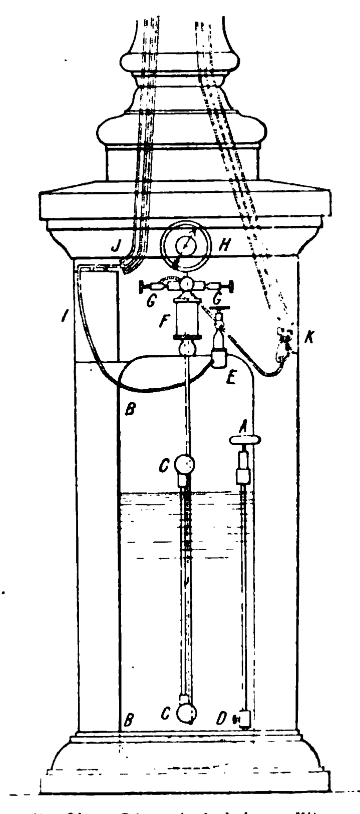


Fig. 34. — Réservoir de la lampe Kitson (Dispositif pour l'alimentation de 3 foyers montés sur le même candélabre).

48. Lampe Kitson. — La lampe Kitson est spécialement conçue en vue de réaliser des foyers de grande intensité applicables à l'éclairage public.

Les figures 34 et 35 indiquent la disposition des différents éléments constitutifs de l'appareil Kitson tel qu'il a fonctionné à Paris, sur le quai des Tuileries, pendant l'année 1900.

Dans le socle d'un candélabre, se trouvait un cylindre en tôle d'acier B, d'une capacité de 45 litres, rempli, jusqu'aux deux tiers de sa hauteur, de pétrole lampant; le niveau du pétrole était indiqué par le tube C; ce cylindre était en communication avec les trois lampes surmontant chaque candélabre, par l'intermédiaire de trois tubes adduc-

teurs H, de 2 millimètres environ de diamètre, munis de robinets de réglage K.

La lampe proprement dite est représentée en détail (*fig.* 35). Le pétrole, issu du tube adducteur, dans lequel il est

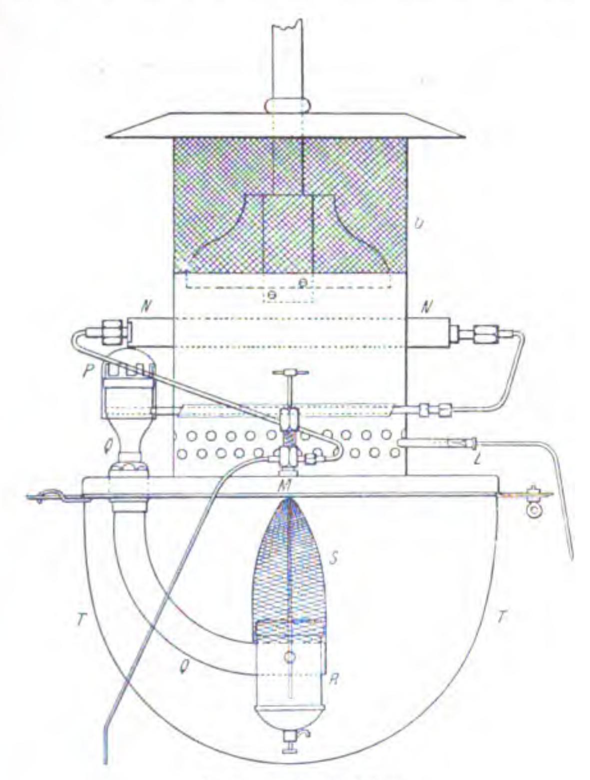


Fig. 35. — Lampe Kitson.

envoyé à la pression de 3 à 5 kilogrammes déterminée par une pompe à main AD, fixée au réservoir, passe par un robinet M, traverse un tube de filtrage N qui le débarrasse de toutes les poussières et autres particules solides, et se répand dans un tube gazéificateur horizontal placé directement au-

dessus de la flamme émanant d'un petit bunsen L. Ce bunsen, allumé comme il sera expliqué plus loin, porte, en quelques instants les parois du gazéificateur à une température suffisamment élevée pour vaporiser le pétrole qui y circule ; les vapeurs émises se répandent, ensuite, dans la chambre P munie d'orifices d'aspiration d'où, après s'être chargées d'air, elles se rendent, en traversant un tube de mélange Q, à l'orifice d'un brûleur cylindrique R surmonté d'une grille métallique et coiffé d'un manchon genre Auer S de $0^{m},05$ de diamètre à la base. Une verrine T protège le foyer contre l'action du vent.

Le mélange de vapeurs et d'air s'enflamme, d'ailleurs, dès son arrivée à la grille, au contact de la flamme du bunsen L qu'on peut alors éteindre, la vaporisation du pétrole étant désormais assurée par la chaleur qui se dégage du manchon incandescent.

L'alimentation du brûleur L affecté à l'amorçage de la lampe présente une particularité intéressante : il est, en effet, alimenté par du gaz à l'air dont la production est opérée dans le socle même du candélabre des lampes. A cet effet, un robinet d'échappement E (*fig.* 34), adapté à la paroi supérieure du récipient de pétrole, permet de diriger une partie de l'air comprimé qu'il renferme à l'intérieur d'une sorte de fontaine à gaz I disposée également dans le socle ; cet air, traversant des substances poreuses imprégnées de gazoline, se carbure suffisamment pour former un gaz combustible qui est amené au brûleur L par un tube spécial J. L'inflammation du bunsen se fait alors soit à la main, en présentant une flamme au-devant de son orifice, soit par le moyen d'une étincelle électrique.

La lumière émise par la lampe Kitson est remarquable d'éclat et de blancheur. De l'expérimentation faite à Paris sur le quai des Tuileries et qui a porté sur 33 lampes, il résulte que le pouvoir éclairant d'un manchon était de 73 carcels pour une consommation horaire de $0^{kg},300$ de pétrole, sous une pression pouvant varier de $2^{kg},7$ à 5 kilogrammes. La consommation spécifique était donc de $4^{gr},15$ de pétrole par carcel-heure. La durée moyenne des manchons a été de dix jours. Le temps d'allumage de

chaque lampe variait de une minute et demie à trois minutes.

49. Lampe Kornfeld et Lestchinsky. — Dans cette lampe (*fig.* 36), le pétrole, amené sous pression par une cana-

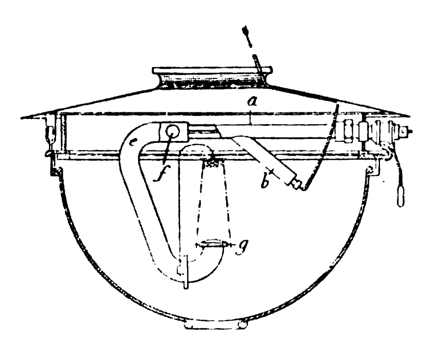


Fig. 36. — Lampe Kornfeld et Lestchinsky.

lisation de 1 à 2 millimètres de diamètre, se rend dans l'appareil gazéificateur formé de deux tubes (*a* et *b*) soudés sous un angle quelconque; le tube *a*, horizontal, est pourvu,

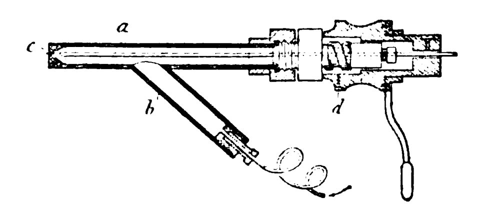


Fig. 37. — Injecteur de la lampe Kornfeld.

à une de ses extrémités, d'un orifice de dégagement des gaz formant éjecteur (*c*) dans lequel s'engage une aiguille de nettoyage et de réglage en platine iridié. L'autre extrémité est munie d'un épaulement sur lequel s'applique un raccord dont la partie extérieure reçoit une rainure hélicoïdale munie d'une vis (*d*) portée par une douille mobile que tra-

verse l'aiguille (*fig.* 37). Une manette, fixée à la douille, permet de la manœuvrer pour la déplacer longitudinalement; on peut, ainsi, décrasser l'éjecteur ou régler la sortie des vapeurs.

Le tube *b* reçoit le pétrole venant de la conduite capillaire en cuivre étiré, où il est envoyé sous pression (1^{kg},5).

Le pétrole vaporisé sortant de l'éjecteur débouche dans le tube de mélange *e* pourvu d'ouvertures d'admission d'air *f* pour former bunsen : le mélange d'air et de gaz vient brûler à l'orifice du brûleur *g* surmonté d'un manchon.

L'amorçage de la vaporisation du pétrole se fait en chauffant le tube de gazéification avec une flamme d'alcool. La chaleur développée par le brûleur de la lampe suffit ensuite à entretenir une vaporisation continue. La lampe Kornfeld et Lestchinsky a un rendement lumineux sensiblement équivalent à celui de la lampe Kitson, soit une consommation de 90 grammes pour 22 carcels. Plusieurs lampes peuvent d'ailleurs être desservies simultanément, par le même récipient de pétrole : il suffit de greffer leur alimentation particulière sur une conduite générale de distribution de pétrole. Il va sans dire qu'il convient, dans ce cas, de placer, avant chaque lampe, un détendeur destiné à régulariser la pression ; on assure ainsi l'uniformité d'éclairage ainsi que l'indépendance des lampes.

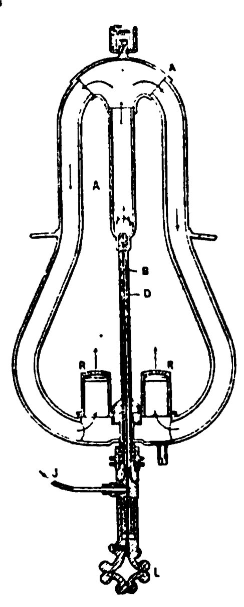


FIG. 38. — Lampe Washington.

On cite encore, parmi cette catégorie d'appareils, la lampe *Washington*, dans laquelle le pétrole, amené par le bas au moyen d'un tube J, se rend dans le gazéificateur A placé au-dessus des manchons R R. Cette lampe fournit avec deux manchons une intensité moyenne de 30 carcels correspondant à une dépense de 6^{gr},8 par carcel-heure. Enfin, il convient

de signaler la lampe *Impériale Russe*, brevet Kornfeld, également exploitée en France par la société « La Washington ». Cette lampe, qui utilise aussi bien le pétrole que l'alcool, est décrite n° 59 (*fig.* 46). Lorsqu'on veut l'utiliser avec du pétrole, l'éjecteur formé par le robinet à pointeau R doit être de 3/10 de millimètre. L'intensité est de 61^{carc},8 pour 178 grammes de pétrole, soit 2^{gr},9 par carcel.

50. **Comparaison des diverses lampes.** — On peut se placer à deux points de vue, soit qu'on considère deux lampes différentes brûlant le même liquide, soit qu'on les examine séparément, fonctionnant avec des huiles quelconques.

Des essais comparatifs ont été faits entre les pétroles russes et les pétroles d'Amérique. MM. Engler et Levin ont constaté que ces deux produits, dans des lampes appropriées, donnaient la même quantité de lumière totale, mais qu'au début l'intensité de l'huile américaine était plus élevée, sauf à décroître rapidement. La quantité de pétrole consommé est la même dans les deux cas. La conclusion intéressante est qu'il faut, à chaque produit, une lampe spéciale.

Ils ont comparé, également, les différents dérivés d'une même huile minérale. Le résultat est que les produits à point d'ébullition bas possèdent un pouvoir éclairant plus grand que les autres, ce qui explique que le rendement diminue lorsque le niveau baisse. En second lieu, les produits qui distillent entre 150° et 300° contribuent moins au pouvoir éclairant dans le cas des huiles russes que dans celui des huiles américaines. Enfin, si on ajoute des dérivés au-dessus de 300° d'ébullition, ils sont plus nuisibles aux pétroles russes qu'à ceux d'Amérique. Ces renseignements ont une très grande importance en ce qui concerne les mélanges des diverses fractions de la distillation.

Si on compare maintenant les diverses lampes entre elles, on trouve que tous les brûleurs ordinaires ont sensiblement le même rendement : 32 grammes par carcel-heure. Les lampes intensives donnent la carcel avec 30 grammes.

Les brûleurs à incandescence sont de beaucoup plus avantageux ; on obtient couramment la carcel avec 4 à 6 grammes

de pétrole; l'emploi d'un manchon a donc pour effet d'augmenter 6 à 7 fois le rendement.

51. Éclairage des phares. — Le pétrole a été appliqué à l'éclairage des phares. A l'état liquide, il est utilisé dans des lampes à niveau constant, analogues aux lampes à huile du même type, où il alimente une ou deux mèches.

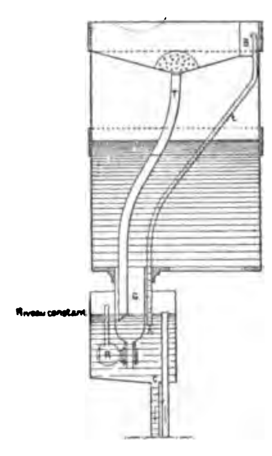


Fig. 39. — Bouteille fixe.

Pour les appareils à mèches multiples, on emploie un dispositif analogue, avec cette amélioration (*fig.* 39) qu'au moyen d'un robinet R fermant le goulot G de la bouteille et d'un tube auxiliaire T pour l'entrée d'air, on peut faire le remplissage de la lampe sans déplacer le réservoir, ce qui est indispensable, cette manœuvre étant très fréquente. En versant le pétrole par T, l'air comprimé s'accumule en B, d'où il refoule dans le tube *t* et s'échappe par A; le liquide va aux becs par le conduit *c* voisin d'un tube de trop-plein.

Dans les feux devant fonctionner pendant plusieurs mois sans gardien, entre le brûleur et le réservoir, d'une centaine de litres de capacité, on intercale un régulateur (*fig.* 40) qui n'est autre qu'un flotteur F déplaçant une éprouvette E, contenant du mercure, au-dessous du tube d'écoulement du liquide. Lorsque le flotteur est au bas de sa course, le pétrole s'écoule librement, jusqu'au moment où le mercure de l'éprouvette vient boucher l'orifice d'écoulement du pétrole. P est un tube de trop-plein, et B le conduit d'alimentation.

Pour réduire la consommation dans ces appareils isolés, on emploie des mèches très épaisses, recouvertes d'une couche de goudron carbonisé ; de cette façon, le pétrole ne peut se vaporiser que par les parties où il n'y a pas de

goudron. La consommation étant de 50 grammes à l'heure, on arrive à réaliser un éclairage d'une durée de plusieurs mois.

C'est surtout pour l'éclairage par incandescence que le pé-

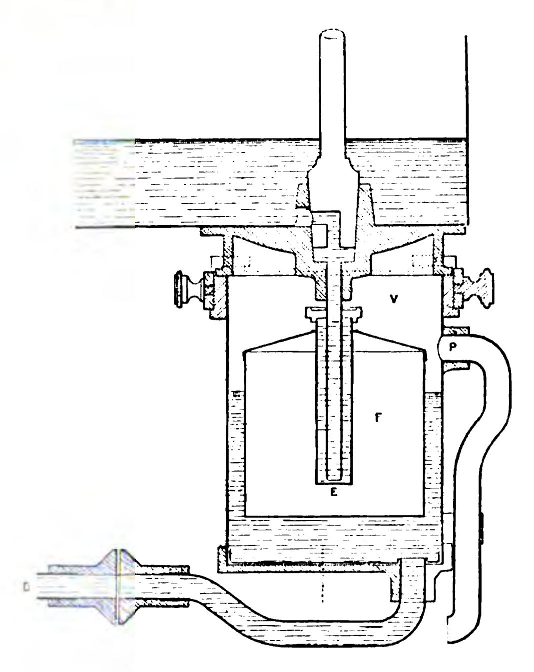


Fig. 40. — Régulateur de pression.

trole est employé. Les brûleurs sont analogues à ceux des lampes précédentes ; mais c'est dans la manière de vaporiser le liquide que le système est différent. Quand la nature de l'optique le permet, le vaporisateur a la forme d'un U (*fig.* 41) dont les branches enserrent aussi près que possible le manchon.

Si on ne peut adopter ce dispositif pour éviter une occultation partielle de la lumière, on reporte une des branches de l'autre côté du manchon ; elles sont alors réunies par un assemblage spécial au-dessus du manchon (*fig.* 41).

Le liquide est envoyé au vaporisateur au moyen d'air comprimé dans un réservoir particulier, communiquant avec celui à pétrole par l'intermédiaire d'une conduite sur laquelle se trouve un petit régulateur de pression. Le remplissage du réservoir à air, dont la capacité doit être double de celui du pétrole, se fait à 7 kilogrammes au moyen d'une pompe à bicyclette. Le débit du pétrole est réglé au moyen d'un robinet à pointeau : à la pression de 2 kilogrammes on obtient le *bec carcel*, avec 4 ou 5 grammes de pétrole. Le système est économique, mais, les brûleurs pouvant s'encrasser, il est indispensable que ces feux soient gardés, ce qui est évidemment un inconvénient.

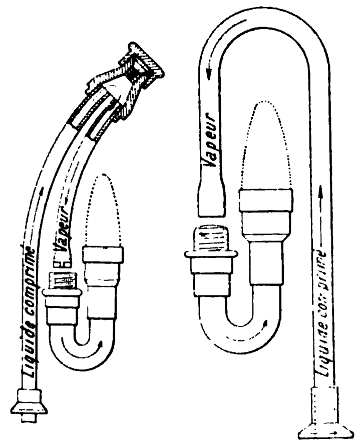


Fig. 41. — Vaporisateur.

§ 3. — Éclairage aux huiles lourdes

52. Préliminaires. — On emploie, naturellement, des huiles épurées grossièrement : il s'agit, en effet, d'obtenir un éclairage très économique. Le principe consiste à réduire le liquide en vapeur avant de le brûler et à se servir de la flamme du brûleur pour produire cette gazéification. On a recours, pour obtenir l'ascension du liquide, à l'air comprimé ; quelques tentatives ont même été faites pour installer une canalisation spéciale pour la distribution de l'air comprimé à chaque brûleur ; mais cette complication a été abandonnée, et, actuellement, chaque lampe porte elle-même le mécanisme nécessaire à la compression de l'air.

Nous allons examiner les derniers appareils imaginés pour ce genre d'éclairage.

53. Lampe Wells. — Le brûleur des lampes primitives était beaucoup trop bas ; dans le système Wells il a été surélevé d'une quantité qu'on peut, du reste, faire varier suivant les besoins. Le réservoir P (*fig.* 42) porte sa pompe à main M. Le robinet de réglage du débit B est à vis, et son boisseau est contenu dans une partie mobile formant filtre, empêchant ainsi les grumeaux d'arriver au brûleur. Ce dernier est formé par un serpentin à axe horizontal. Il vient se placer sur le tube d'ascension A, au moyen d'un joint spécial étanche E. Ses spires *a* ne sont pas circulaires, mais carrées, présentant, à chaque sommet, des bouchons à vis qu'on peut démonter pour enlever au burin le graphite qui s'est déposé. Il faut faire ce nettoyage après chaque fonctionnement de l'appareil.

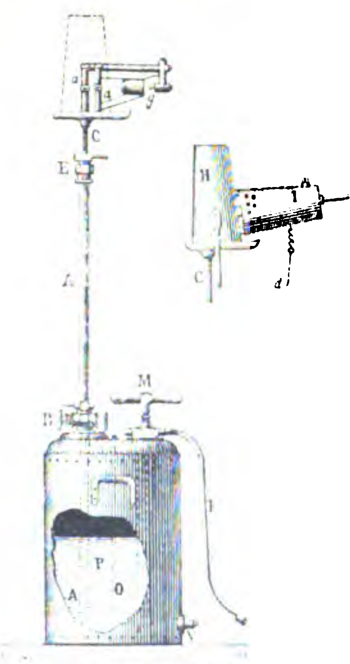


Fig. 42. — Lampe Wells.

L'axe du serpentin est horizontal et le jet liquide, amené dans cette direction par un double retour d'équerre, s'échappe, pulvérisé, par la tuyère *g*. La flamme est guidée au moyen d'un cône. Pour amorcer la lampe, au-dessous du serpentin se trouve disposée une coupe C, dans laquelle on met des déchets imbibés d'essence ou de pétrole, et recouverts

d'une cheminée H ; on les enflamme pour chauffer le brûleur. L'allumage se fait en ouvrant au bout de cinq à six minutes le robinet B, lorsque les spires sont suffisamment chaudes pour gazéifier l'huile lourde. On a simplifié l'allumage en plaçant, dans le boisseau du robinet, une valve qui permet d'envoyer dans le tube d'alimentation un courant d'air sous pression pris dans le réservoir. L'huile pulvérisée par l'air s'enflamme au contact d'une allumette, et le dégagement de chaleur produit suffit à chauffer le serpentin. Au bout de 3 à 3 minutes 1/2, on ferme la valve à air et on ouvre plus largement le robinet B, la lampe est en marche. La coupe sert, en outre, à recueillir, pendant le fonctionnement de l'appareil, les gouttelettes qui peuvent s'échapper de la tuyère. Pour donner plus de fixité à la flamme, on entoure le brûleur d'une enveloppe en tôle ou garde-brûleur I avec une épinglette *d* pour nettoyer la tuyère en cas d'obstruction de cette dernière. Toutes les quatre ou cinq heures, il est nécessaire de donner quelques coups de piston pour remonter la pression et ajouter en même temps du liquide par le tube d'aspiration F. On note la pression au moyen d'un manomètre, et une tige O sert d'indicateur de niveau de l'huile.

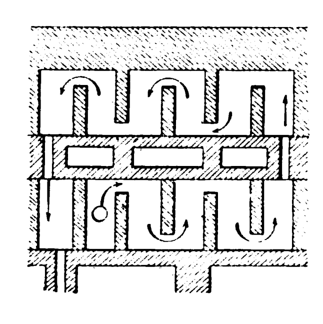
La flamme de cette lampe mesure près de 90 centimètres de longueur sur 15 de diamètre. Elle donne une intensité moyenne de 100 carcels avec une consommation de $5^{kg},5$ à l'heure. Cette lampe est assez volumineuse ; de plus, elle nécessite des huiles lourdes sans grumeaux ; enfin il faut nettoyer le brûleur à des intervalles assez rapprochés.

54. Lampe Seigle. — L'appareil comprend un réservoir d'alimentation contenant l'huile lourde qu'on refoule dans le brûleur comme dans la lampe Wells. Le brûleur peut être placé directement sur un tube métallique simple ou à rallonge ou bien encore à l'extrémité d'un tube souple articulé. Il est formé de deux boisseaux en fonte A évidés et séparés par une rondelle ajourée B. L'assemblage est obtenu au moyen de boulons de serrage. L'huile circule dans le vide annulaire des boisseaux, en serpentant, grâce aux chicanes dont ils sont munis. Elle arrive, par un conduit *a*, au bas du

serpentin, pour déboucher, par un deuxième conduit, à travers un bouchon D portant un tube-filtre F percé à sa base de trous assez gros. Le filtrage est obtenu au moyen de paille de fer légèrement tassée. L'intérieur des boisseaux livrant passage à la flamme sert de gaine de chauffage (*fig.* 43).

Une coupe G entoure le bas du brûleur sur lequel elle est

Coupe *xy*. — Chicanes des boisseaux.



Coupe verticale du brûleur.

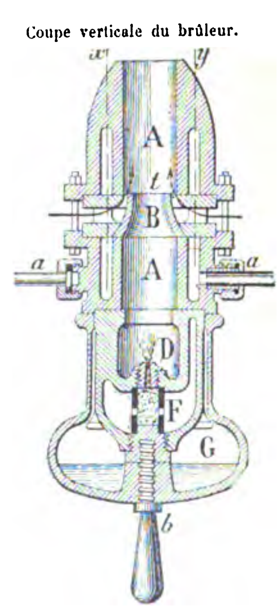


Fig. 43. — Lampe Seigle.

fixée par un boulon à manette *b* pour orienter la flamme. Elle sert, comme dans la lampe Wells, au chauffage préalable du serpentin, obtenu en brûlant un peu de pétrole. La rondelle B présente intérieurement un tronc de cône *t* dont la pointe débouche dans le boisseau supérieur en laissant un vide pour l'aspiration de l'air, empêchant ainsi tout dépôt de coke sur la paroi. L'ensemble du brûleur est porté par deux tourillons *a* se réunissant en forme d'étrier ; une des branches est creuse et sert à l'arrivée de l'huile. La mise en

marche demande cinq minutes environ ; la lampe peut fonctionner quinze heures. Sa dépense est, comme dans la lampe Wells, de $5^{kg},5$ par heure avec une intensité de 100 carcels. Le réservoir comporte, comme toujours, les organes complémentaires qu'on trouve dans toutes les lampes à huile lourde.

L'éclairage aux huiles lourdes est d'un emploi très limité et ne convient guère que pour les installations provisoires en plein vent, comme chantiers, expositions, où il peut rendre alors de très grands services, à la condition toutefois d'être fort simple et d'une manipulation facile ; à ce point de vue les lampes précédentes donnent satisfaction.

CHAPITRE IV

ÉCLAIRAGE A L'ALCOOL

---

55. **Alcool.** — L'alcool industriel, qui est le produit de la distillation de la betterave, de la pomme de terre, est un liquide incolore qu'on peut obtenir encore par synthèse en partant du carbure de calcium : 100 kilogrammes de carbure donnent 97 litres d'alcool à 90° (procédé Berthelot et Hennel).

Sa formule chimique est C^2H^5OH, il contient en pour cent :

$$C = 52,2, \quad H = 13, \quad O = 34,8.$$

Sa densité est de 0,806 à 0° et 0,795 à 15°.

Il bout à 78°,4 et se décompose vers 350° en donnant de la vapeur d'eau, de l'aldéhyde acétique et de l'éthane.

Il brûle avec une flamme incolore nécessitant 7,368 fois son poids d'air.

Sa puissance calorifique est de 6.427 calories au kilogramme, soit 5.109 calories au litre ; elle est donc inférieure à celle du pétrole (10.500). La puissance calorifique des composés suivants est d'ailleurs :

Essence....................	9.800 calories au kilogramme.
Méthylène..................	4.300 —

La rectification, qui a pour but d'enlever toutes les impuretés pour ne laisser que 1 0/0 d'huile essentielle, a comme

conséquence de diminuer la puissance calorifique; car les impuretés retirées, comme l'aldéhyde, les alcools propylique, butylique, amylique, ont un pouvoir calorifique de 8.500 calories en moyenne.

L'alcool industriel est employé en parfumerie et pour l'extraction des alcaloïdes, soit directement ou sous forme de dérivés; il sert encore pour la fabrication des produits pharmaceutiques, du vinaigre et des vernis. Mais ce qui intéresse ici, c'est son application à l'éclairage.

Généralement on l'emploie à l'état liquide; cependant on a essayé de s'en servir à l'état solide en utilisant la propriété qu'a le savon d'en absorber 90 0/0. M. Denayrouze, dans le même but, a imaginé de l'emmagasiner dans du collodion solidifié obtenu par la dissolution de la cellulose nitrée dans un mélange d'alcool et d'éther dont on évapore l'éther à basse température; ce produit, appelé *émeraudine*, contient 90 0/0 d'alcool.

56. **Alcool dénaturé.** — Pour l'éclairage, on n'emploie que de l'alcool dénaturé, c'est-à-dire de l'alcool additionné d'une matière étrangère qui empêche sa reconstitution en alcool de bouche. Les dénaturants adoptés varient suivant les pays.

En France, on se sert du *méthylène* provenant de la distillation du bois et contenant 25 0/0 d'acétone pour 75 0/0 d'alcool méthylique; il doit être ajouté à l'alcool à 90° dans la proportion de 10 0/0; de plus, ce mélange est additionné de 1 0/0 de benzine bouillant entre 150 et 250°. Un hectolitre d'alcool reçoit donc 10 litres de méthylène et 1 litre de benzine.

Le mélange devait en outre, il y a quelque temps, être coloré par du vert malachite ou vert d'aniline; mais ce composé, obstruant les orifices capillaires des lampes, a été supprimé.

Le prix élevé de ce dénaturant a fait demander aux intéressés d'en réduire la proportion; en effet, 1 à 2 0/0 de méthylène laisse des traces suffisantes pour empêcher toute reconstitution de l'alcool. On reconnaît la présence infinitésimale du méthylène dans l'alcool par la diméthylaniline,

qui bleuit sous l'action de l'oxyde puce de plomb (M. Trillat).

On a proposé encore comme dénaturant l'huile de suint, riche en acétones, 50 à 60 0/0 (M. Buisine), additionnée de 1 0/0 de benzine. L'huile de suint est décelée par la phénylhydrazine, qui se combine avec les acétones pour former de l'osazone précipitant par l'eau. Quant à la benzine, il suffit de la transformer en diazobenzol pour obtenir avec l'α-naphtol une coloration rouge intense.

En Allemagne, la proportion de méthylène à ajouter n'est que de 4 0/0, soit $2^l,5$ par hectolitre d'alcool à 90° ; le mélange est additionné d'une partie de bases pyridiques extraites du goudron ou de benzol.

En Suisse, à 100 parties d'alcool, on ajoute 2 0/0 d'acétones supérieures (ou dénaturant Lang) provenant des alcools amyliques de distillation.

Il existe encore d'autres dénaturants ; mais leur application n'a pas été sanctionnée par la pratique.

L'alcool dénaturé a la composition ci-après :

$$C = 41{,}5, \quad H = 13, \quad O = 45{,}5.$$

Sa densité à 15° est 0,834, et son point d'ébullition, 77°,5.

Enfin sa puissance calorifique, assez variable selon les conditions de sa dénaturation, est d'environ 5.500 calories au kilogramme, soit 4.597 calories environ au litre.

Il est aussi à remarquer que la chaleur de combustion de 1 litre d'alcool dénaturé est à peu près équivalente à celle de 1 mètre cube de gaz de houille. L'alcool dénaturé a une teneur en carbone très peu élevée, en sorte que son emploi pour l'alimentation des lampes ordinaires ne donnerait que des résultats peu intéressants. C'est pourquoi on incorpore le plus souvent à ce produit un hydrocarbure très riche en carbone et de densité à peu près équivalente, la benzine par exemple ; on sait que ce dernier hydrocarbure renferme 92 0/0 de carbone et 8 d'hydrogène ; sa densité est 0,885, et sa puissance calorifique de 9.160 calories au kilogramme.

Dès lors, en faisant varier la quantité de benzine à mélanger à l'alcool, on peut exalter le pouvoir éclairant et le pouvoir calorifique de celui-ci. Ce qu'il faut, surtout, c'est que

le mélange soit très intime et ne se dissocie pas à la chaleur.

Les appareils d'éclairage à l'alcool peuvent être ramenés à deux types : les uns brûlent l'alcool liquide à l'extrémité d'une mèche ; les autres le gazéifient préalablement et donnent avec l'air un mélange gazeux dont la combustion sert à porter à l'incandescence un manchon Auer.

57. Appareils brûlant l'alcool à l'état liquide. — On peut se servir des lampes ordinaires à pétrole dans lesquelles le liquide, aspiré par une mèche de coton, vient brûler à son extrémité dans un bec à double courant d'air. Seulement, pour donner à l'alcool un pouvoir éclairant suffisant, on y ajoute des hydrocarbures, benzine, toluène, ou mélange des deux. Généralement le mélange n'est pas modifié après un fonctionnement de six heures. Avec tous les mélanges où la dose d'hydrocarbure à température d'ébullition élevée n'est pas assez forte pour faire fumer la lampe, l'intensité lumineuse reste constante ; on a intérêt à employer de préférence des carbures lourds. D'après M. Sorel il faut, pour obtenir la carcel-heure,

1^{l},121	....					d'alcool pur
0^{l},110	d'un mélange	de 100^{cm^3}	d'alcool	+	20^{cm^3}	de benzine
0^{l},063	—	de 100^{cm^3}	—	+	40^{cm^3}	—
0^{l},043	—	de 100^{cm^3}	—	+	60^{cm^3}	—

Comme pour les lampes à essence, le liquide est parfois contenu dans un réservoir renfermant une matière absorbante, du feutre (lampe Pigeon), une éponge d'amiante ou de la pierre ponce. On peut, au-dessus du bec, ajouter un disque épanouissant la flamme, comme dans le brûleur *G. Chalmel*, ou avoir, comme dans le bec *Matador*, un capuchon métallique perforé sur la douille recevant la mèche ; l'air passe à l'intérieur de la douille et extérieurement par la galerie à jour de la cheminée. Ces lampes fonctionnent bien avec des différences de niveau de 85 millimètres. Elles sont sans odeur ni suintement ; mais, l'alcool carburé s'enflammant à 0°, il faut les manipuler avec précaution. On peut avec ce système d'appareils remplacer l'alcool éthylique par

de l'alcool méthylique concentré au maximum. L'intensité des lampes destinées à l'éclairage domestique atteint 15^{bg},5 à 20^{bg},5, correspondant à une consommation de 5 à 8 grammes par bougie, soit 1,5 à 2 fois la consommation de pétrole.

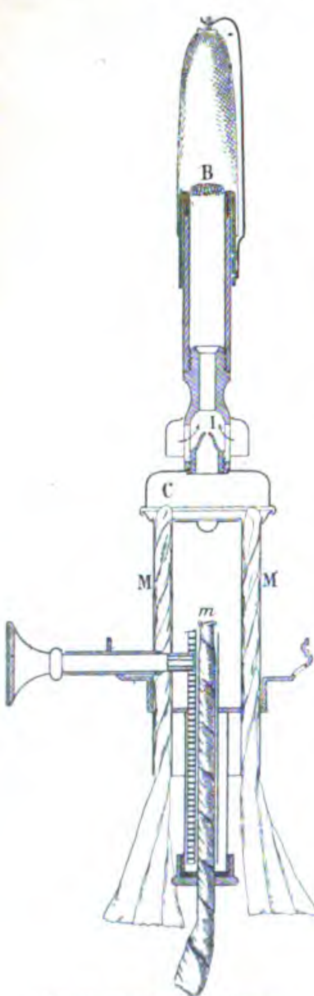


Fig. 44. — Lampe à veilleuse.

58. Lampes où l'alcool est gazéifié par une veilleuse. — Dans tous les appareils qui vont suivre, l'alcool, simplement dénaturé ou carburé, est brûlé à l'état de gaz, la flamme ainsi produite servant à l'incandescence d'un manchon dans un brûleur bunsen. Toutes ces lampes ne diffèrent entre elles que par la manière d'amener l'alcool à l'appareil vaporisateur et par le mode de chauffage de cet organe. On les classe, du reste, d'après ce mode de chauffage.

Les premières lampes à alcool, comme celles à gaz d'essence, étaient caractérisées par une veilleuse chauffant, pendant toute la durée de l'éclairage, de l'alcool vaporisé. En principe, un appareil de ce genre (*fig. 44*) comporte un certain nombre de tubes M, deux à quatre, renfermant une mèche fortement serrée et plongeant dans le réservoir contenant le liquide. Les tubes, à leur

partie supérieure, se réunissent à un tronc commun C placé au-dessus de la veilleuse qu'alimente une mèche spéciale *m*. L'alcool chauffé se vaporise et le gaz ainsi formé s'échappe, par un ajutage I, dans un bunsen, entraînant avec lui l'air nécessaire à sa combustion.

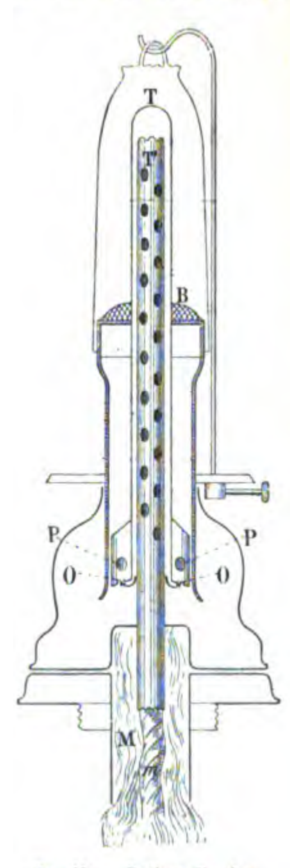


Fig. 45. — Brûleur Simplex.

Dans le bec *Préféré* de la Société Continentale Nouvelle, on n'a que deux tubes en forme de douille aplatie, débouchant dans une chaudière lenticulaire. La mèche de la veilleuse est mobile au moyen d'un pignon, de manière à pouvoir obtenir un chauffage plus ou moins intense. L'allumage se fait en deux fois : d'abord celui de la veilleuse ; puis, un peu après, celui du brûleur. L'intensité de cette lampe est de 30 à 60 bougies, suivant le numéro, pour une consommation de 1gr,5 à 3 gr. par bougie.

Les lampes Regina, Octrue, Auer sont basées sur le même principe et ne diffèrent de la précédente que par quelques détails : addition d'un isolateur séparant le bec de la lampe et déformation de la veilleuse pour l'échappement des gaz du réservoir (Regina) ; ou suppression de la chaudière remplacée par un injecteur chauffé par la veilleuse (Octrue). Ces lampes, d'un fonctionnement très sûr, sont surtout employées pour l'éclairage domestique.

59. Lampes où l'alcool est gazéifié par le brûleur. — Le principe de ces appareils, destinés surtout aux éclairages

intensifs, est de vaporiser l'alcool pour la flamme même du brûleur ; les lampes de ce groupe ne diffèrent entre elles que par la manière d'arriver à ce résultat. Dans quelques-unes, le liquide est envoyé sous pression au brûleur ; dans d'autres, il est aspiré au moyen d'une mèche incombustible, qui l'amène au vaporisateur contenu dans le brûleur. Mais, quel que soit le système, il est nécessaire, pour la mise en marche, de chauffer au préalable le brûleur, ce qui est évidemment un inconvénient.

Comme brûleur à mèche, on peut citer le *Simplex* de la Société Continentale Nouvelle (*fig.* 45), qui comporte deux tubes concentriques contenus à l'intérieur du brûleur. Le tube intérieur perforé T′ reçoit une mèche en amiante *m* qu'alimente une mèche ordinaire en coton M. L'alcool vaporisé se dégage à l'intérieur du second tube T, d'où il redescend pour s'échapper par O à la base et remonter dans le bunsen B en aspirant de l'air par les orifices P. Les becs *Héra*, *National* sont analogues et conviennent comme le précédent pour l'éclairage intérieur.

Comme appareil sous pression, on peut citer la lampe *Kornfeld* (*fig.* 46), construite par la Société Washington. L'alcool, à la pression de 6/10 de kilogramme, est envoyé par un conduit capillaire dans le tube T, garni intérieurement de fils de cuivre, que l'on chauffe, au début, par la combustion d'un peu d'alcool versé dans une coupelle C ; à l'extrémité de ce tube, le liquide s'engage dans un régulateur R, traversé par une aiguille mue par la clef D, après s'être filtré sur un tissu d'amiante enroulé dans le régulateur ; la vapeur s'échappe par un éjecteur de $\frac{5}{10}$ à $\frac{7}{10}$ de millimètre, suivant la nature du liquide employé, puis aspire, en pénétrant dans le tube coudé A, l'air nécessaire à la combustion. Avant d'arriver au brûleur B, on peut régler l'admission du mélange au moyen du papillon P et de la vis disposée verticalement sous le tube que coiffe le manchon B. L'intensité de 61 carcels s'obtient avec 3 grammes d'alcool carburé ou 10 grammes d'alcool ordinaire par heure.

La lampe *Washington* (*fig.* 38) est analogue ; elle est construite en vue de l'éclairage public ; le brûleur est à deux ou



trois manchons. Il en est de même de la lampe *Denayrouze;* seulement le liquide employé est de l'alcool carburé. Les lampes sous pression fonctionnent bien, leur intensité est considérable, ce qui augmente leur rendement, 1gr,4 par bougie heure.

C'est à ce groupe qu'appartient également la lampe *Monopole* ou *Hellf* (*fig.* 47), disposée pour être suspendue dans les ateliers ou sur la voie publique; mais elle en diffère par le mode d'emploi du liquide contenu dans deux réservoirs lenticulaires V et *v* communiquant entre eux par le tube U; l'alcool est amené du réservoir *v* par des mèches *m* dans la chaudière C, où il est volatilisé. Il redescend à l'état gazeux

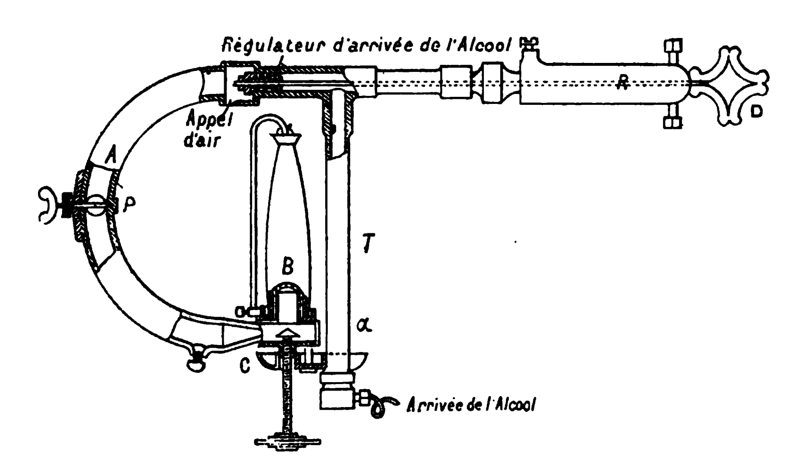


Fig. 46. — Lampe Kornfeld.

par les tubes D jusqu'au brûleur B, dont les gaz chauds servent au chauffage de la chaudière.

Pour l'allumage, il suffit de tourner le robinet R à l'aide du levier *r*; une certaine quantité d'alcool pénètre dans une coupelle *g*, où on l'enflamme au moyen d'une topette d'alcool ou d'une allumette par l'entonnoir *o*. Le gaz prend feu de lui-même à son arrivée au brûleur.

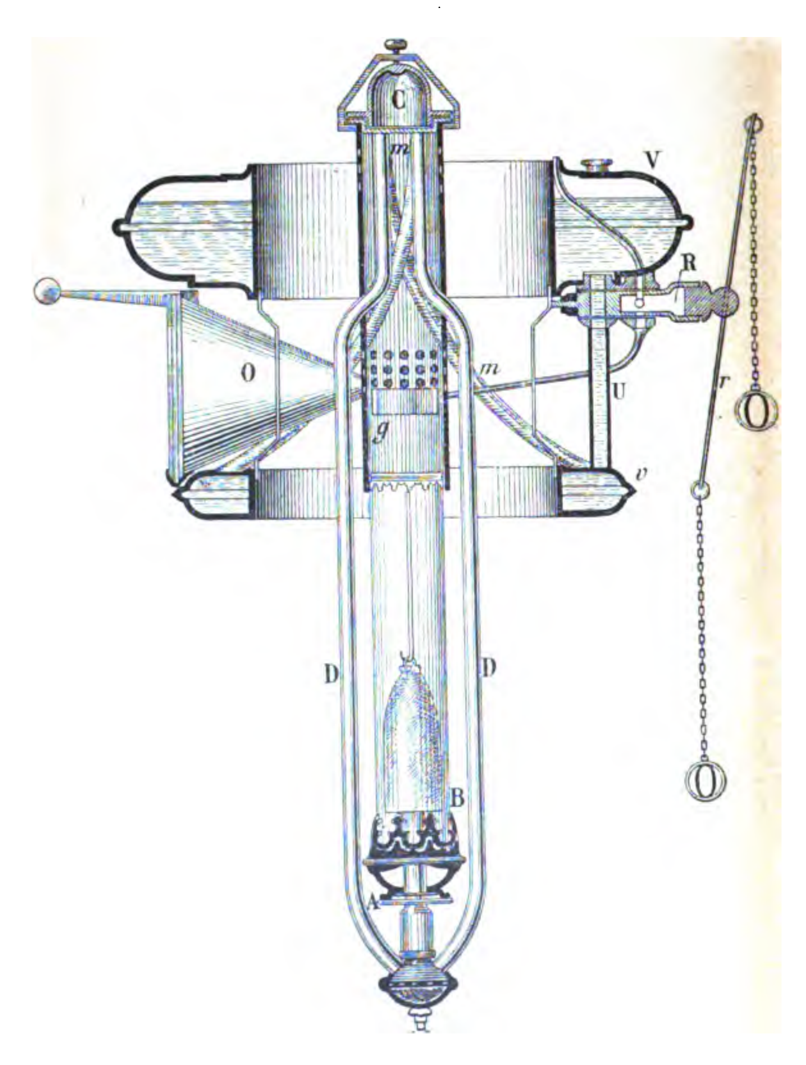


Fig. 47. — Lampe Monopole.

Les essais photométriques de Charlottenbourg ont donné pour cette lampe les résultats suivants :

Degré d'alcool	Intensité lumineuse	Quantité d'alcool par bougie Hefner
86	41	2,03
86	38	3,03
90	56	2,74
90,5	43	2,95

Sensiblement améliorée dans l'appareil *Schuchardt*, cette lampe a été encore perfectionnée par M. Trollé dans le modèle *La Couronne* (*fig*. 48). Il n'y a plus qu'un réservoir *d* dont le liquide s'écoule directement, par un conduit *c* avec robinet *k*, jusqu'à la mèche unique contenue dans le tube à gazéification *a*. Cette mèche, formée exclusivement par un treillis métallique, est facile à retirer par l'écrou *b*. La chaudière *e* a été changée ; au lieu d'être maintenue par un étrier, les deux parties sont assemblées par trois vis, avec interposition d'une rondelle d'amiante. Enfin, l'alcool condensé dans les tubes d'alimentation de vapeur *f*, au lieu de s'accumuler dans une capsule fermée, où il finissait par amener souvent l'extinction, est recueilli dans un godet *g* où il prend feu au contact de l'air.

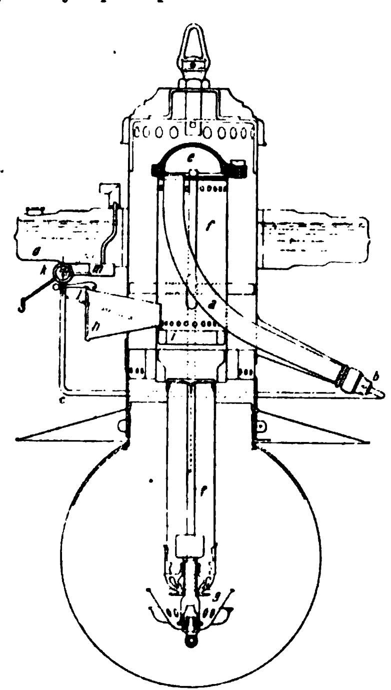


Fig. 48. — Lampe La Couronne.

L'allumage se fait comme précédemment en enflammant,

par l'entonnoir *h*, l'alcool contenu dans l'anneau à gorge *i* rempli de liquide par le tube *l* traversant le robinet à deux boisseaux *k*; la quantité de liquide pour l'allumage est toujours la même; c'est celle du godet *m*. L'intensité de cette lampe varie de 68 à 70 bougies.

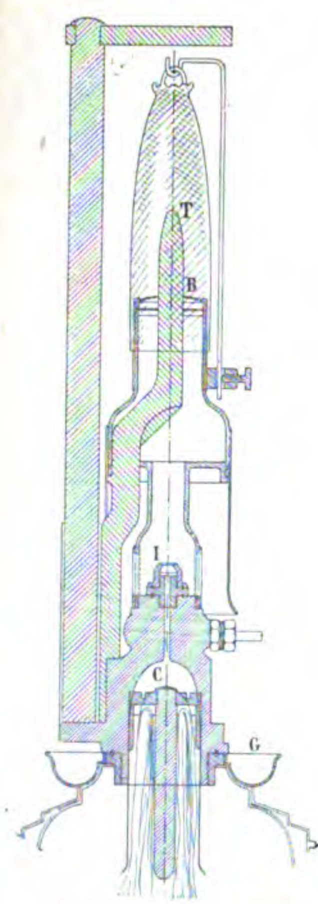


Fig. 49. — Brûleur Denayrouze.

60. **Lampes où l'alcool est gazéifié par récupération de chaleur.** — Dans ce système d'appareil, la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'alcool est obtenue par une ou plusieurs tiges métalliques, chauffées par la flamme du brûleur, et amenant par conductibilité la chaleur à la chaudière de vaporisation.

Le plus ancien de ces becs est le brûleur allemand *Phébus* comportant, à l'intérieur du manchon, une tige métallique qui conduit la chaleur à la chaudière, à laquelle aboutissent les extrémités des mèches de coton aspirant l'alcool dans le réservoir de l'appareil. L'allumage se fait au moyen d'une petite lampe qui chauffe une collerette disposée autour de la chaudière; elle chauffe, en même temps, un petit tube qui enflamme l'alcool sous le manchon. Pour éteindre, il suffit de dévisser un pointeau qui laisse échapper le gaz de la chaudière amenant, ainsi, l'extinction du brûleur. Ce bec est très répandu.

Dans la lampe *Denayrouze* (*fig.* 49) sont deux tiges, l'une T à l'intérieur du manchon; l'autre, en forme de potence extérieure. Ces deux tiges aboutissent à une masselotte en laiton qui renferme la chaudière C, dans laquelle le liquide s'élève par capillarité au moyen de mèches en amiante entourées d'une mèche métallique. Dans le modèle de lampes intensives, la masse de laiton est placée très près du réservoir, de façon à échauffer le liquide qui se présente à la chaudière déjà à une certaine pression, favorisant ainsi son évaporation. Pour l'emploi de l'alcool carburé, M. Denayrouze a donné à la chaudière un diamètre très faible, légèrement supérieur à celui du tube qui contient les mèches d'amiante; il y a en quelque sorte autant de chaudières que de mèches, d'où le nom d'alvéolaire. De la chaudière part un petit tube qui conduit le gaz à l'éjecteur I du bec bunsen. L'allumage se fait en enflammant l'alcool contenu dans la coupelle G ou au moyen d'une topette à alcool. Dès que la gazéification est commencée, il n'y a qu'à enflammer le gaz au-dessus de l'orifice B du bunsen. La Société d'éclairage qui exploite ces brevets possède des lampes de 50 à 400 bougies; le liquide employé est de l'alcool carburé à 2/3 de benzine.

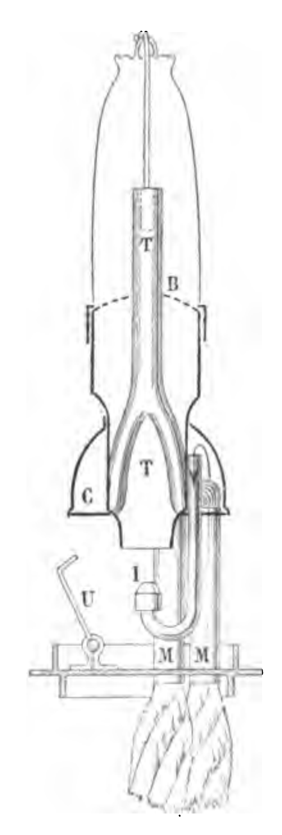


Fig. 50. — Brûleur Decamps.

Un autre appareil de ce groupe est la lampe *Decamps* (*fig.* 50) (brevet Lecomte), brûlant indifféremment de l'alcool dénaturé ou carburé. Les mèches M amènent l'alcool à la chaudière C, tout en cuivre rouge; celle-ci est traversée

par un large tube dans lequel se trouve la tige de récupération T, qui sert de support au manchon B. L'alcool vaporisé descend par un tube fin, recourbé, qui l'amène au moyen d'un ajutage I dans l'axe de la chaudière et du tube, après aspiration d'air. Pour l'allumage, il suffit de chauffer avec une topette d'alcool la chaudière, le bunsen s'allume, peu après, au contact de la flamme. Pour l'extinction, il faut renverser l'obturateur U sur l'éjecteur. En outre, on règle la quantité de liquide injecté au moyen d'un robinet à pointeau.

Il convient de citer également le bec *Landi* à alcool ordinaire. Il se compose (*fig.* 51) d'un tube T rempli de mèches M et surmonté d'un éjecteur *I* par lequel s'échappe le gaz produit dans la chambre de gazéification formée d'un tube perforé. La chaleur est communiquée à la chambre de gazéification au moyen de la tige *o* et du bunsen formant conducteur.

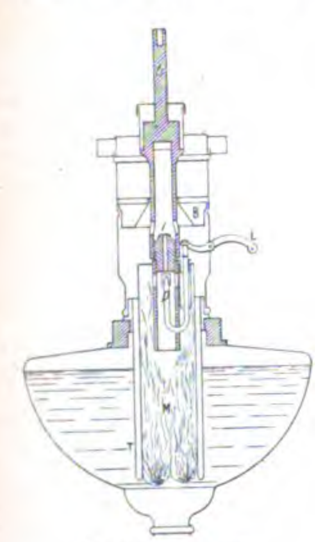


Fig. 51. — Bec Landi.

Pour allumer la lampe, il suffit de lever le levier L pour dégager l'éjecteur obturé par le pointeau *p*, d'injecter quelques gouttes d'alcool dans la coupelle B au moyen d'une burette et d'y mettre le feu ; la lampe s'allume d'elle-même au bout de deux minutes environ. Pour éteindre, il n'y a qu'à appuyer sur le levier L.

Les principaux avantages de ce bec sont les suivants : 1° L'alcool ne peut jamais s'accumuler dans la chambre de gazéification, qui est ouverte par le bas et communique avec la mèche ; il ne peut donc pas se produire de dégorgement d'alcool et, par suite, de jet de flamme au moment de l'allumage, comme cela a lieu lorsque la chambre de gazéification est au-dessus de

l'éjecteur; 2° Le tube sur lequel est soudée la bague filetée destinée à fixer le bec sur les récipients, est lui-même soudé au bas du tube porte-chaleur et plonge constamment dans l'alcool. Il ne peut communiquer aucune chaleur au récipient, qui reste toujours froid.

Des essais ont d'ailleurs prouvé qu'au bout de trois heures de fonctionnement, la température du liquide n'atteignait que 29° et demeurait constante.

La consommation de cette lampe est d'environ 1 litre d'alcool à 90° en huit heures pour une intensité de 50 à 55 bougies.

Enfin, on peut terminer la série par la lampe *Perlich* (*fig.* 52), dont l'originalité consiste dans le brûleur en forme de colimaçon. Le liquide, amené par des mèches, est vaporisé par la chaleur de combustion; il s'échappe dans un tube qui l'amène à l'injecteur, où il aspire en même temps l'air nécessaire à la combustion; mais, au lieu de déboucher dans le brûleur, le mélange revient sur lui-même, se surchauffant avec pénétration plus intime des molécules d'alcool et d'air. Il n'y a aucune condensation d'alcool. Pour rendre la vaporisation suffisante, le brûleur est très ramassé sur lui-même. On obtient avec cette lampe, d'un fonctionnement régulier, un ren-

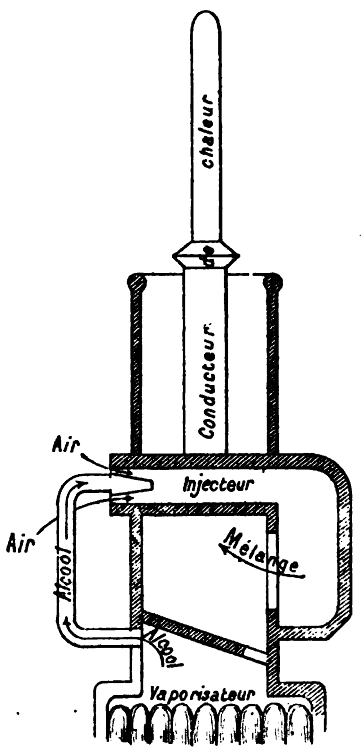


Fig. 52. — Lampe Perlich.

dement de $1^{gr},7$ par bougie, soit 85 grammes d'alcool à 90° pour 50 bougies.

61. Comparaison des divers systèmes. — Il résulte des essais de M. Sorel que les lampes à flamme libre par l'alcool carburé sont d'un rendement bien inférieur à celui des lampes à manchon incandescent: on compte 5 à 6 grammes pour les premières et 1 à 2 grammes pour les autres.

Les caractéristiques des divers types de lampes sont indiquées au tableau suivant établi d'après les essais effectués à Paris, en 1901 et 1902, par les experts chargés d'examiner les appareils présentés à l'Exposition des applications de l'alcool.

La première conclusion est que, pour un même type de lampe, les consommations élevées sont les plus avantageuses, ce qui était facile à prévoir : cette règle étant générale, quel que soit le système d'éclairage.

Le mode de gazéification employé semble aussi être sans grande importance ; il suffit de comparer deux lampes de dépense équivalente appartenant à des systèmes différents, le rendement est sensiblement le même. La quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation entre deux températures déterminées étant constante, il parait importer peu que cette chaleur soit fournie par conductibilité ou par veilleuse spéciale ; cependant il ne faut pas que la chaleur fournie soit trop élevée, sinon il y a décomposition de l'alcool en proportion de l'excès de température au-dessus de 350°.

Par contre, la nature du liquide employé joue un grand rôle; on remarque que l'alcool carburé à 50 0 0 est plus avantageux que l'alcool dénaturé seul, non seulement l'intensité du brûleur augmente, mais la dépense de liquide diminue. Il suffit de comparer entre elles les lampes Denayrouze ou Kornfeld, brûlant de l'alcool dénaturé ou de l'alcool carburé. On suppose, bien entendu, que les manchons employés sont de même nature et de mêmes dimensions ; sinon il faudrait faire intervenir la valeur éclairante du manchon, car, dans la production d'une lumière par incandescence, il faut tenir compte de la puissance calorifique du combustible et de la qualité du manchon incandescent. Cette dernière est extrêmement variable d'un manchon à l'autre.

TYPES DE LAMPES	NATURE DU LIQUIDE	FABRICANTS	INTENSITÉ EN BOUGIES	CONSOMMATION EN CENTIMÈTRES cubes	CONSOMMATION SPÉCIFIQUE par bougie-heure
Lampes sans gazéification	alcool carburé	à 35 0/0 Société alkolumine	5,6	69,1	7,5
		à 40 0/0 Blondel et Hancelin	16	117	7,3
		à 50 0/0 Villeminot	20	108	5,1
Lampes avec gazéification	alcool	Société Continentale Préféré n° 1	36,4	109,2	3,3
		— n° 2	23,3	65,2	2,8
		— 1900	78,4	148,9	1,9
		Société Regina	23,9	88,4	3,7
		Bec Octrue	29	118	4,1
		Simplex	25,1	100,4	4,0
		Schuchardt	61	225	3,7
	dénaturé	Decamps n° 1	18,9	90,7	4,8
		— n° 2	32,5	96,5	3,0
		Bec Landi	38	128	3,4
		Denayrouze à pression	346,2	380	1,1
		— sans pression	92,8	52,4	2,3
		Hantz n° 1	85,5	205,2	2,4
		— n° 2	123,2	234,1	1,9
		Washington n° 1	149,6	403,9	2,7
		— n° 2	354,0	674,1	1,9
	alcool	Kornfeld	254	298,4	1,2
		Decamps n° 2	38	79,8	2,1
		Denayrouze à pression	485	339,5	0,7
		— sans pression n° 4	185,5	129,8	0,7
	carburé	— alkolumine n° 1	3,6	11,9	3,1
		— — n° 6	140	182	1,3
		— Kornfeld	610	305	0,5

Un facteur important est encore la pression de l'alcool gazéifié à sa sortie. Les appareils à tension ont un rendement meilleur que les autres. La pression semble donner un mélange plus intime d'air et de gaz, ainsi qu'une forme de la flamme plus appropriée au manchon. On verra du reste, dans les autres systèmes d'éclairage, que les résultats sont identiques et qu'on a toujours intérêt à produire un mélange très intime de l'air et du combustible par la pression.

Dans les lampes à pression, aussi bien à l'alcool qu'au pétrole, il faut s'assurer, avant l'allumage, que le liquide arrive bien au brûleur; il suffit, pour cela, de dévisser le raccord qui relie la conduite capillaire à la lampe. Une autre précaution doit tendre à éviter les faux allumages, c'est-à-dire d'envoyer le liquide avant que le vaporisateur soit suffisamment chaud; sinon l'alcool, ou le pétrole, se répand par les orifices d'appel d'air dans l'appareil et salit la lampe. Pour les lampes à pression, les manchons employés doivent être à mailles larges pour laisser passer les gaz.

L'entretien des lampes à alcool ne présente rien de spécial : toutes les trois cents heures environ, il faut nettoyer le brûleur, décrasser le vaporisateur, les mèches métalliques, et remplacer les filtres s'il y a lieu. La visite de ceux-ci doit se faire plus fréquemment : au bout de 70 à 100 heures environ.

En somme, il résulte des considérations précédentes que l'alcool est comparable en tous points aux autres fluides d'éclairage; il a comme applications plus directes, l'éclairage domestique, ou celui de certaines usines ou agglomérations peu importantes.

CHAPITRE V

GAZ DE HOUILLE

§ 1. — Fabrication du gaz

62. Houille. — Un très grand nombre de substances sont susceptibles de donner du gaz; mais, d'une manière générale, on se sert surtout de la houille. Le principe de la fabrication au moyen de cette matière consiste, à la chauffer en vase clos et à recueillir les produits de la distillation après avoir eu soin de les débarrasser des impuretés qui nuisent au pouvoir éclairant.

Il existe différentes variétés de houille; on les groupe d'après leur composition chimique; le tableau de la page suivante donne cette classification.

Toutes ces houilles ne conviennent pas également à la production du gaz d'éclairage; on emploie de préférence la houille grasse à longue flamme, dont la teneur en hydrogène est relativement élevée et celle en oxygène assez faible. Ce sont les deux qualités que l'on recherche dans une houille: l'hydrogène facilitant la formation des hydrocarbures; l'oxygène, au contraire, donnant naissance aux produits nuisibles comme l'acide carbonique. Il semblerait que la houille grasse maréchale et celle à courte flamme conviennent également, puisqu'elles satisfont à la double condition précédente; il n'en est rien, parce qu'elles donnent un gaz inférieur; de plus, le coke de la première est de qualité médiocre et la seconde est difficile à distiller. Cependant, depuis l'apparition du brû-

HOUILLES	DENSITÉ	COMPOSITION (L'EAU ENLEVÉE)			PUISSANCE CALORIFIQUE A L'ÉTAT	
		CARBURES	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	ORDINAIRE	PUR
Sèche à longue flamme..........	1,2 à 1,5	75 à 80	4,5 à 5,5	15 à 19,5	7.200 à 7.800	8.000 à 8.500
Grasse à longue flamme ou à gaz..	—	80 à 85	5 à 5,8	10 à 14	7.500 à 8.000	8.500 à 8.800
Grasse maréchale ou de forge....	—	84 à 89	5 à 5,5	5,5 à 11	7.800 à 8.300	8.800 à 9.300
Grasse courte flamme ou à coke.	—	88 à 91	4 à 5,5	5,5 à 6,5	8.300 à 8.600	9.500 à 9.600
Maigre anthraciteuse............	1,3 à 1,6	90 à 93	4 à 4,5	3 à 5,5	8.200 à 8.500	9.200 à 9.500
Anthracite	1,4 à 1,8	93 à 95	2,5 à 4	2,5 à 4	7.800 à 8.300	9.000 à 9.400

leur à incandescence, la qualité de la houille a moins d'importance, la composition du gaz n'influant que fort peu; aussi le nombre des houilles employées est plus considérable; du reste on peut les corriger par des mélanges convenablement déterminés.

Les houilles à gaz proviennent plus particulièrement du Nord de la France; du bassin de Newcastle, en Angleterre; de la Silésie et de la Westphalie, en Allemagne. Les houilles doivent être conservées à l'abri de l'humidité, qui fait perdre au charbon, par suite d'échauffement dû à l'oxydation des pyrites de fer qu'il contient, une grande partie de sa valeur. L'action prolongée de l'air est, du reste, néfaste au charbon, dont le pouvoir calorifique se trouve diminué; la distillation devient d'ailleurs plus difficile et le coke plus friable.

63. Analyse des charbons. — Avant leur emploi, les houilles doivent être essayées; cette opération a surtout pour but la détermination des mélanges, de manière à obtenir un gaz de composition constante. Comme il n'est guère possible de faire dans les usines l'analyse chimique complète du charbon, on se contente de déterminer sa teneur en certaines matières :

1° Le *degré d'humidité*. L'eau a pour effet de refroidir les appareils de distillation et de diminuer le pouvoir éclairant du gaz ainsi que le rendement ; les eaux ammoniacales sont plus pauvres, d'où il résulte un traitement plus onéreux. Pour déterminer la proportion d'eau, on prend 100 à 200 grammes de houille, que l'on place dans une capsule tarée à l'avance. On chauffe à 100 ou 120°, pendant quelques instants dans une étuve, puis on pèse à nouveau : la différence donne l'eau évaporée. La moyenne est de 3 0/0; elle ne doit pas excéder 7 à 8 0/0. On répète les essais jusqu'à ce qu'on ait un chiffre sensiblement constant;

2° Les *matières volatiles*, dont la proportion doit excéder 30 0/0. Il suffit, dans un creuset fermé par un couvercle percé d'un trou, ou muni d'une cheminée, de calciner 1 kilogramme de la houille à essayer. Lorsque tout dégagement de flamme par l'orifice cesse, on effectue une seconde pesée; la différence donne la quantité de matières volatilisées, qu'il faut diminuer de la quantité relative au degré d'humidité;

3° Le *coke*, qui n'est autre que le résidu de l'essai précédent dont on retranchera le poids des cendres. Les houilles de bonne qualité donnent 60 à 70 0/0 de coke, qui doit être bien aggloméré et peu friable;

4° Les *cendres*, que l'on obtient en grillant lentement à l'air libre le coke ou la houille. La qualité des résidus se détermine d'après la couleur : les cendres ferrugineuses sont brunes ou noires; les cendres calcaires, plus ou moins blanches; les cendres siliceuses, plus ou moins grises.

La teneur en cendres ne doit pas excéder 10 0/0 ; elle est en moyenne de 6 à 6,5 0/0 ;

5° Le *soufre* et l'*azote ;* ce dosage est de beaucoup plus difficile et appartient à l'analyse chimique.

La teneur en soufre ne doit pas excéder 2 0/0.

L'essai d'une houille peut se faire dans un appareil particulier (de Pelouze et Auduin), qui n'est autre qu'une usine en réduction : 100 grammes de charbon sont chauffés dans un tube en fer. Le gaz est recueilli dans un gazomètre, puis épuré. On le vérifie ensuite au point de vue du pouvoir éclairant; le résidu est formé par le coke, qui, grillé à l'air, donne les cendres.

Pour faire les essais, il faut avoir soin de prendre des échantillons dans toute la masse du charbon et bien les mélanger en réduisant de plus en plus leur volume jusqu'à ce que l'échantillon définitif soit de 100 grammes ou de 1 kilogramme.

64. **Conservation de la houille.** — L'exposition prolongée de la houille en plein air occasionne l'altération de sa composition : et cette altération a sa répercussion dans les produits obtenus par la distillation; en particulier, le pouvoir éclairant du gaz fabriqué se trouve amoindri.

En outre, la houille s'échauffe, et cet échauffement, qui est en partie attribué à l'oxydation des sulfures de fer qu'elle contient, peut atteindre un degré suffisant pour provoquer l'inflammation et la distillation spontanées.

L'expérience a prouvé, à ce dernier point de vue, que l'échauffement, qui est à peu près nul sous de faibles épaisseurs de charbon, s'accroît avec la hauteur du tas; que,

vers la hauteur de 4 mètres, la température atteint 70°, et qu'au delà elle continue à s'élever progressivement pour provoquer, au bout de trois mois, des dégagements de vapeur d'eau, de gaz et de fumées; en ouvrant le tas, on constate l'ignition. En recouvrant de poussière de charbon le point en feu, la combustion vive s'arrête, mais la distillation continue.

Ces phénomènes montrent l'intérêt qu'il y a à éviter autant que possible les emmagasinages en tas de grande hauteur et à observer un roulement d'utilisation convenable permettant de distiller des charbons frais.

Sans doute, ces desiderata ne s'accommodent pas toujours avec les exigences créées par le manque d'emplacement et surtout par l'irrégularité des approvisionnements, conséquence des fluctuations du marché des charbons ou de l'irrégularité des moyens d'approvisionnement.

Quoiqu'il en soit, il est indispensable de surveiller attentivement l'échauffement des tas de houille; cette surveillance est le plus souvent aisée en y enfonçant des barres de fer dont on peut ensuite constater la température en les touchant.

65. Cornues. — La distillation de la houille s'effectue dans des cornues cylindriques en fonte ou en terre réfractaire ayant, généralement, une section en forme de D ou ovale, et disposées horizontalement par groupes de trois, cinq, neuf ou onze dans des fours spéciaux. Toutes proportions gardées, les fours à un grand nombre de cornues sont les plus avantageux.

Les cornues en terre, les plus employées, sont préférables à cause de leur prix d'achat moindre et de leur plus grande durée (trente-huit à trente-six mois), conséquence de leur résistance à la chaleur. On fabrique les cornues avec un mélange de terre réfractaire cuite (1/3) et d'argile réfractaire crue (2/3) ayant peu de retrait et exempte de fer et de chaux. La terre réfractaire, ou ciment, n'est autre que la partie fine de briques ou vieilles cornues broyées et tamisées. Deux qualités sont à rechercher dans les cornues : la solidité, obtenue en donnant à l'appareil une épaisseur

suffisante, et l'imperméabilité, rendue plus grande encore par le dépôt d'un vernis intérieur. Toutefois ces deux conditions ont comme inconvénient de réduire la conductibilité et, par suite, de mal utiliser le chauffage extérieur. Les dimensions des cornues sont très variables; elles sont comprises le plus souvent entre les limites suivantes :

Longueur	$2^{m},50$ à $3^{m},20$
Hauteur.......................... ...	$0^{m},30$ à $0^{m},45$
Largeur................................	$0^{m},50$ à $0^{m},65$
Epaisseur	$0^{m},05$ à $0^{m},06$

Avec des cornues ouvertes des deux côtés, comme on en emploie dans certains fours (fours Coze), la longueur est plus considérable, $3^{m},60$ en moyenne et on va jusqu'à $6^{m},10$. Pour augmenter la surface de chauffe des cornues, tout en conservant le même volume, on a imaginé de leur donner une forme ondulée; on obtient, ainsi, une augmentation de 25 à 30 0/0, pour la même dépense de chauffage et la même durée, c'est-à-dire deux ans environ.

Il semblerait qu'on ait intérêt à augmenter le volume de la cornue; mais il y a une limite sanctionnée par la pratique,

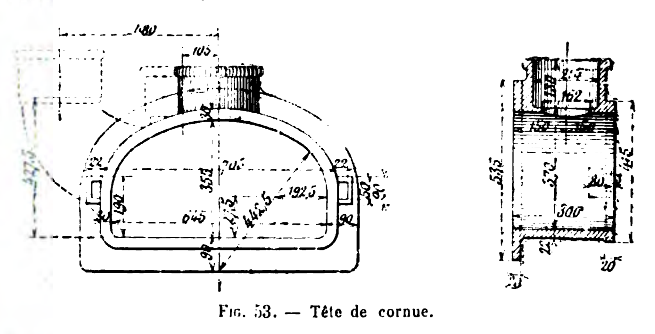


Fig. 53. — Tête de cornue.

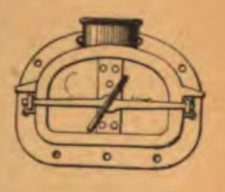
car il ne faut pas oublier que le chargement doit se faire très vite.

Les cornues se font à la main ou mécaniquement. Ce dernier procédé de fabrication permet d'obtenir une épaisseur moindre dans les mêmes conditions de solidité et de durée, tout en coûtant meilleur marché. Une presse Moranne donne

par jour, avec six hommes, douze cornues; tandis que, à la main, un homme n'en fait qu'une par jour. En Angleterre, on emploie des cornues en plusieurs pièces assemblées à rainure et languette.

La partie antérieure des cornues, qui correspond d'ailleurs à la façade du four, est munie d'une pièce en fonte ou *tête de cornue* destinée à faire communiquer la cornue avec les appareils suivants et à former, pendant la distillation, fermeture hermétique au moyen d'un tampon.

Cette tête de cornue (*fig.* 53), qui a généralement 0m,30 de long et une section semblable à celle de la cornue, est munie d'une collerette pouvant s'appliquer sur une partie semblable ménagée à l'extrémité de la cornue. L'assemblage se fait au moyen de boulons et le joint est rendu étanche par du mastic, ou liant, formé de limaille de fonte et d'argile mélangées. La tête porte, en outre, soit perpendiculairement à son axe, soit sur le côté, un emboîtement destiné à recevoir le tuyau ascensionnel des produits de la distillation.



La tête est fermée, à l'avant, par un tampon en tôle emboutie dont les bords sont garnis, à chaque opération, de mastic de fonte et d'argile. On le maintient par un bouton excentré ou par une vis de pression dont l'écrou, fixe, se trouve sur une traverse reliée à la tête par deux oreilles (*fig.* 54). Au lieu de tampon, on peut se servir d'une porte mobile autour d'une charnière fixée sur un des côtés de la tête. Ce genre d'obturateur devant s'appliquer sans lut, la tête de cornue est rodée au préalable. La porte est maintenue à l'extrémité opposée à la charnière par une pièce en fer.

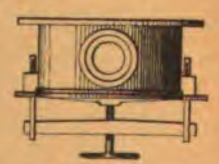
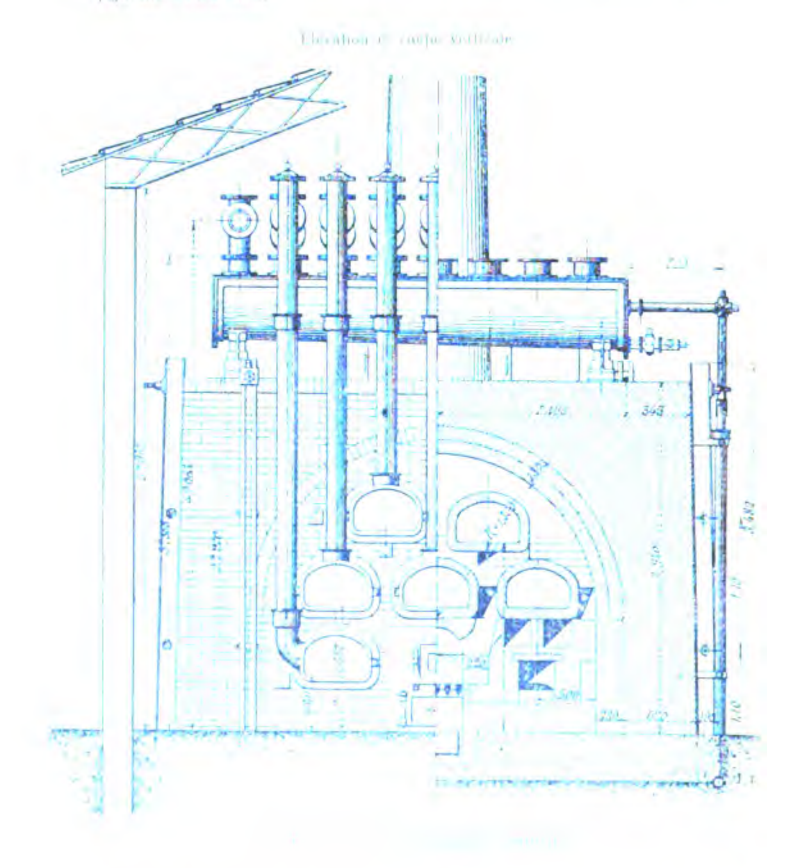


Fig. 54. — Tampon.

66. Fours. — *Fours ordinaires.* — Les fours sont constitués par une voûte en briques réfractaires limitée à l'arrière par un mur de fond contre lequel s'appuie l'extrémité des cornues, et à l'avant par un mur de façade à travers lequel passent

les têtes. De distance en distance, les cornues sont maintenues par de petits murs en terre réfractaire ou en briques formant chicanes, qui obligent la flamme à lécher les diverses parois (*fig.* 55 et 55 *bis*).

Élévation et coupe verticale



Les dimensions des foyers sont proportionnées au nombre et à la capacité des cornues. La largeur des grilles varie de 0m,35 à 0m,50, et la longueur de 0m,70 à 1 mètre, suivant la nature du combustible employé; on compte, en moyenne,

1 mètre carré par 100 ou 120 kilogrammes de combustible. Les barreaux des grilles destinées à brûler du coke sont peu nombreux, mais de fortes dimensions, afin de résister à la chaleur : 3 à 6 centimètres de côté; on les espace de 3 à 4 centimètres. Avec du poussier, l'intervalle doit être réduit. La


Coupe transversale.

Fig. 55 *bis*. — Four à combustible ordinaire.

grille est inclinée de 8 à 15 centimètres de l'avant à l'arrière pour faciliter les chargements.

Dans la cuvette du cendrier, qui doit avoir au moins $0^m,18$ de profondeur, on envoie de l'eau qui, en s'évaporant,

refroidit la grille et donne du gaz combustible brûlant dans le four au contact de l'air, admis toujours en quantité suffisante. La hauteur du seuil de la porte du foyer au-dessus du



Fig. 56. — Four à récupération.

sol varie de $0^m,15$ à $0^m,35$; les porte sont, comme dimensions, $0^m,25$ à $0^m,35$ de haut sur $0^m,30$ à $0^m,35$ de long. L'intervalle entre la grille et la première cornue est de $0^m,60$; entre

les cornues ou entre les cornues et la voûte, il faut 0^m,10 à 0^m,15 pour le passage des gaz. Le tirage est réglé au moyen de registres placés à l'entrée des cheminées traî-

Coupe transversale.

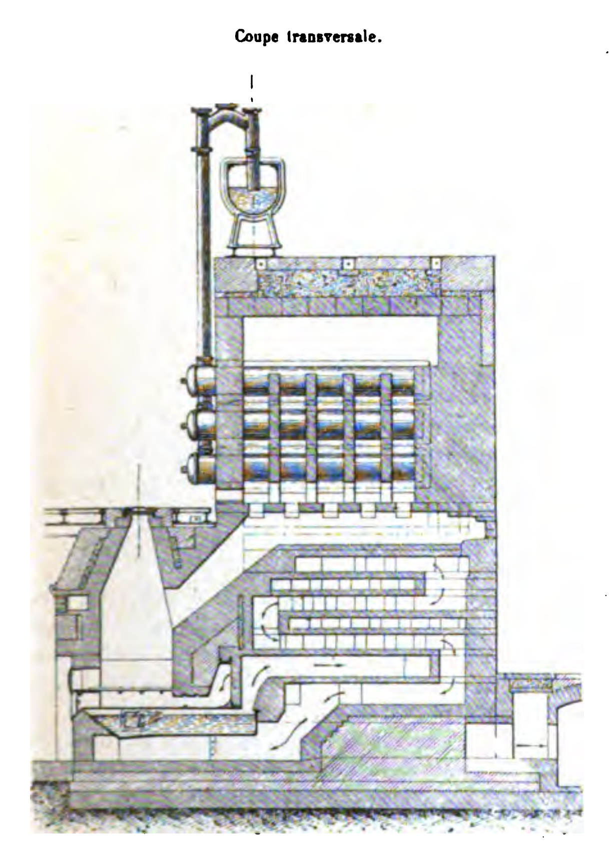


Fig. 56 *bis*. — Four à récupération.

nantes, qui amènent les produits de la combustion à la cheminée principale. Les gaz sont ramenés, autant que possible, à l'avant des fours.

Il faut 200 à 210 kilogrammes de coke, soit 5 hectolitres, pour produire la distillation d'une tonne de houille. Avec le chauffage à la houille, on compte 150 à 200 kilogrammes, et avec des agglomérés (charbon, poussier de coke et brai), 245 kilogrammes par tonne distillée. Le chargement sur la grille doit se faire à intervalles réguliers ; on doit décrasser cette dernière une heure ou deux avant le chargement; cette opération doit se faire vivement.

La construction des fours exige beaucoup de soin pour augmenter leur durée, qui est d'une année en moyenne. Les briques sont reliées par un mortier en terre réfractaire (1/3 terre cuite, 2/3 argile); les caniveaux doivent être étanches. On adosse les fours deux à deux pour éviter toute perte de chaleur, soit une économie de 10 0/0 environ, et on les consolide au moyen d'armatures.

Chauffage au gaz. — On applique aux fours de distillation le chauffage par les combustibles gazeux avec récupération de chaleur préconisée dans d'autres industries. La houille ou le coke du chauffage des fours est transformé en gaz combustible, que l'on brûle sous les cornues au moyen d'air chaud. Cette transformation se fait dans des gazogènes, qui ne sont autres que des foyers de forme parallélipipédique ou pyramidale de 1 à 2 mètres de section verticale, dans lesquels on charge, sur une grille, toutes les quatre heures au plus et toutes les deux heures au moins, le combustible solide. Au contact de l'air passant à faible vitesse, le charbon non complètement brûlé donne de l'oxyde de carbone. Pour obtenir ce dernier gaz, il faut au moins $0^{m},50$ d'épaisseur de combustible ; ordinairement cette épaisseur varie de $0^{m},75$ à $1^{m},30$. Le tirage est assez faible, quelques millimètres d'eau; on a 25 0/0 de CO, 60 0/0 d'Az. Le combustible gazeux encore chaud (800°) est amené sous les cornues, où il rencontre de l'air préalablement chauffé (800°). La combustion très vive donne des températures élevées. Les deux gaz arrivent par des fentes percées dans des blocs réfractaires disposés en rangées vers le milieu des fours ou sur les côtés ; les dispositifs varient avec les systèmes. Les jets gazeux sont plus ou moins inclinés, de manière à produire un mélange intime,

et la pression à la sortie est de 2 à 3 millimètres d'eau.

Le chauffage de l'air est obtenu au moyen des chaleurs emportées par les produits de la combustion ; c'est le principe de la récupération. Pratiquement, ce résultat est obtenu dans un espace rempli de briques ou de poteries superposées laissant entre elles des vides dans lesquels passent les fumées (*fig.* 56 et 56 *bis*). Lorsqu'elles sont suffisamment chaudes, on cesse de faire passer les fumées, qu'on envoie dans une deuxième chambre, en les remplaçant par de l'air froid qui s'échauffe progressivement. Au bout d'un certain temps, une heure en général, on renverse la marche : c'est-à-dire que les fumées passent dans la première chambre et l'air dans la seconde ; ainsi de suite à intervalles réguliers. Le renversement nécessite des manœuvres supplémentaires et complique le service, aussi le supprime-t-on quelquefois. On se contente, alors, de faire passer l'air et les fumées dans des conduits distincts voisins, toujours les mêmes.

Quel que soit le système, la récupération est assez importante; les fumées qui, dans les fours ordinaires, s'échappent à la base de la cheminée à 1.000 et 1.100°, n'ont plus avec la récupération que 500°, d'où une économie réelle de combustible. La consommation de coke n'est plus que de 160 à 180 kilogrammes par tonne de houille distillée, soit une réduction de 22 à 25 0/0; mais cette économie est compensée en partie par l'excédent des dépenses d'installation. Ces fours ont en outre l'avantage de donner une température plus élevée et une marche plus régulière, soit 1.100° au sommet du four (arrivée) et 1.000°, au bas (sortie), tout en permettant de brûler des combustibles quelconques; on n'a plus à craindre les dépôts de cendres sur les cornues ou dans les caniveaux, ce qui assure une bonne transmission.

Les premiers essais faits avec des gazogènes du système Siemens ne furent pas satisfaisants; le gazogène était loin des fours et il en résultait des difficultés d'entretien et de nettoyage. Avec le Siemens modifié, le gazogène est devant le four et le récupérateur sert uniquement au chauffage de l'air; il est à renversement. Les empilages sont en briques pleines.

Dans les divers systèmes dérivés de ce dernier, les gazo-

gènes sont près des fours, le renversement est supprimé ; les chambres sont formées de briques creuses (Ponsard) ou de poteries (Lencauchez, Kloenne); ils exigent moins de place que le précédent, mais les températures sont moins uniformes et les chambres moins étanches. Le tirage a été diminué au moyen de barrages, de manière à forcer tout l'acide carbonique à se transformer en oxyde de carbone.

Le cendrier a été fermé complètement de manière à empêcher tout rayonnement. Enfin, sous le coke, on injecte de la vapeur d'eau qui donne, en se décomposant, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène dont la chaleur spécifique est plus élevée; la température du mélange se trouve abaissée, mais on diminue les pertes par refroidissement.

Dans les diverses installations, le récupérateur se trouve sous les fours à 3 ou 4 mètres de profondeur; le gazogène est placé en avant des fours à la même profondeur; son chargement se fait par une trémie ou gueulard au niveau du sol. Lorsque, pour une raison quelconque, il n'est pas possible d'installer un récupérateur complet, on met le gazogène à l'arrière; à la place du foyer, un carneau horizontal et de chaque côté de petits récupérateurs (système Müller Eichelbrenner) servant au chauffage de l'air; l'économie est moindre, mais l'installation est moins onéreuse.

Un four à gazogène comporte 6, 8, 9 ou 12 cornues avec un seul gazogène par four. Les carneaux pour les fumées ou l'air doivent être calculés pour une vitesse de 1 mètre à la seconde. Pour les fumées, on compte 14 à 18 centimètres carrés par kilogramme de combustible à l'heure. Pour les gaz combustibles, on prend 10 décimètres carrés pour un four à 7 cornues et on va jusqu'à 25 décimètres carrés pour une batterie de 2 fours. A l'usine du Landy de la Compagnie parisienne, il existe 12 fours à 9 cornues chacun, soit 108 cornues; ils sont adossés deux par deux, avec un gazogène pour deux fours.

La conduite des gazogènes ne présente rien de spécial; il faut avoir soin de retirer les cendres sans interrompre le chauffage; le combustible est maintenu soulevé par une grille provisoire et on vide le cendrier ouvert à ce moment seulement.

Fours à goudron. — Depuis quelques années, on cherche à utiliser le goudron au chauffage des cornues (*fig.* 57); ce pro-

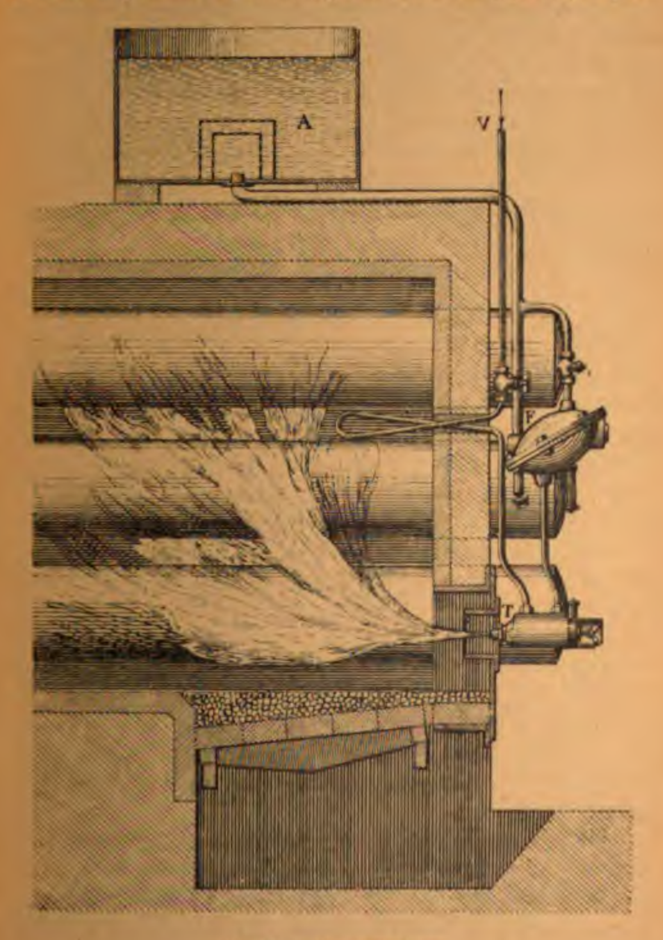


Fig. 57. — Four à goudron.

cédé est assez économique, surtout lorsque la vente du goudron est difficile. Dans ce cas, les foyers sont à façade

pleine; les portes sont supprimées et remplacées par des orifices pour l'air et le goudron.

Ce dernier, venant d'un réservoir A, est lancé, après avoir traversé un filtre F, dans une tuyère F, où il est entraîné par un jet de vapeur V (injecteur Drory), qui le pulvérise. Il existe d'autres systèmes d'injecteurs. La consommation de goudron est de 80 à 100 kilogrammes par tonne de houille distillée. Quel que soit le mode de chauffage, la chaleur fournie se répartit à raison de 30 à 35 0/0 pour la distillation, 50 à 60 emportés par les fumées, et le reste perdu par rayonnement.

§ 2. — Distillation

67. Chargement des cornues. — La distillation se faisant d'une manière continue, il faut renouveler, à intervalles réguliers, la houille des cornues. Ces dernières reçoivent 120 à 170 kilogrammes de charbon répandu en une couche uniforme de 20 à 30 centimètres. Les charges doivent être assez fortes pour laisser peu de place au gaz, qui ne doit pas rester au contact de la chaleur; d'autre part, il ne faut pas perdre de vue que le charbon se boursoufle et qu'il faut pouvoir retirer le coke. Les charges trop épaisses ont comme conséquence de refroidir la cornue et de donner les produits de la distillation à basse température. Le chargement doit se faire très vite pour éviter la perte de gaz, qui est de 2 à 3 0/0; on compte en général vingt minutes pour un four à 7 cornues desservi par un homme et un aide, ou huit hommes pour 8 fours, chacun des hommes ayant une fonction spéciale.

La distillation terminée, on procède au déchargement du coke. A cet effet, le chauffeur desserre un peu la vis du tampon et écarte légèrement l'obturateur en présentant une allumette ou une étoupe enflammée pour brûler le gaz qui pourrait s'échapper. Cette opération a pour but d'éviter l'explosion qui pourrait se produire si on ouvrait le tampon brusquement. Au moyen d'un crochet ou ringard, il fait tomber le coke, qu'on éteint aussitôt.

Les chargements se font à la pelle ou à la cuillère. Le chargement à la pelle est assez long et nécessite une certaine habileté. La cuillère n'est autre qu'un demi-cylindre qu'on remplit de charbon; au moyen d'un manche dont elle est munie, on l'introduit dans la cornue; il suffit de la retourner rapidement pour avoir une couche uniforme. Le chargement à la cuillère se fait plus vite qu'à la pelle et la perte de gaz n'est que de 1 0/0.

Chargement mécanique. — Pour manœuvrer plus facilement la cuillère, dont le poids nécessite un effort considérable,

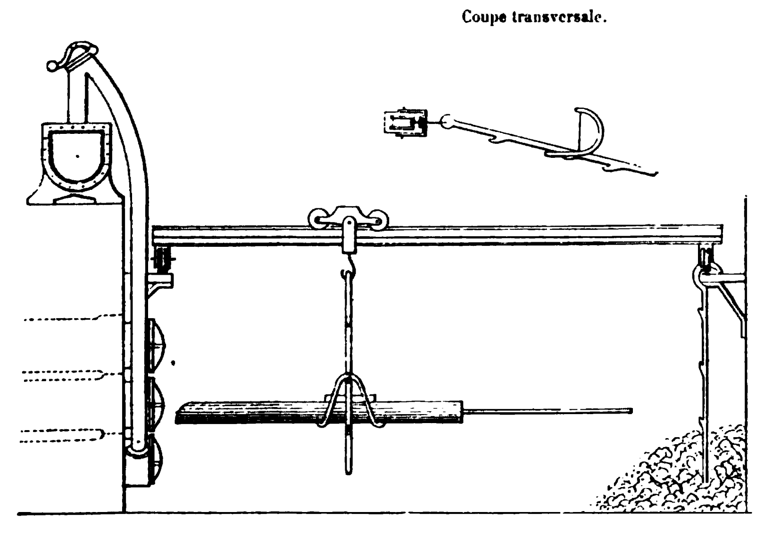


Fig. 58. — Chargement à la cuillère.

on a été amené à la soutenir soit par de petits chariots roulant sur le sol, soit par des ponts circulant sur rails aériens. Le support de la cuillère (*fig.* 58) peut être formé par un palan ou un treuil qui permet de l'élever à la hauteur correspondant à celle des cornues; il est alors assez facile de l'enfoncer dans la cornue et de la retourner pour vider le contenu. On donne

alors à la cuillère la contenance d'une cornue. Le chargement de la cuillère peut se faire en déplaçant le chariot ou le pont jusqu'au magasin à combustible ou en la tournant de 180° autour d'un axe vertical, de manière à la plonger dans le tas de charbon devant les fours.

On a été amené à faire mouvoir mécaniquement la cuillère. Il suffit, en principe, d'imprimer à cette dernière un mouvement de va-et-vient dans le sens horizontal, de manière à pouvoir l'enfoncer ou la retirer de la cornue. Le déchargement peut se faire dans la cornue, soit en la retournant, soit en enfonçant dans le demi-cylindre qui forme la cuillère un piston qui chasse la houille. Le support de cuillère peut recevoir un mouvement vertical, qui permet de la placer à la hauteur convenable. Le chargement de la cornue se fait en une ou plusieurs fois ; sa durée n'est que d'une ou deux minutes. Il est nécessaire, en outre, que le remplissage de la cuillère se fasse très vite ; à cet effet, le chariot qui soutient la cuillère et son mécanisme est surmonté d'une trémie contenant 4 à 5 tonnes de charbon, c'est-à-dire la quantité nécessaire au chargement de plusieurs fours. Il suffit de déplacer le chariot pour remplir à nouveau cette trémie au tas principal.

Le défournement du coke se fait dans des conditions analogues ; la cuillère est remplacée par un ringard ou crochet qu'on peut déplacer horizontalement ; il suffit d'introduire quatre à cinq fois ce crochet pour retirer le coke de la cornue. On peut remplacer le crochet par une cuillère de déchargement qui enlève le coke d'un seul coup. Les appareils à action mécanique sont mus par câbles, par l'air comprimé ou par l'eau sous pression. L'économie réalisée serait de 30 à 40 0/0 sur la dépense de main-d'œuvre ; le système a surtout l'avantage de ne pas nécessiter d'ouvriers spéciaux.

Fours à cornues inclinées. — Au lieu d'avoir les cornues horizontales, M. Coze a imaginé de les incliner à 30 ou 32° (*fig.* 59), de manière que la houille introduite par le haut puisse, après distillation, tomber sous forme de coke à la partie inférieure. La longueur des cornues est beaucoup plus élevée qu'avec les systèmes précédents ; elle varie de 3m,50 à 6m,10 (très favo-

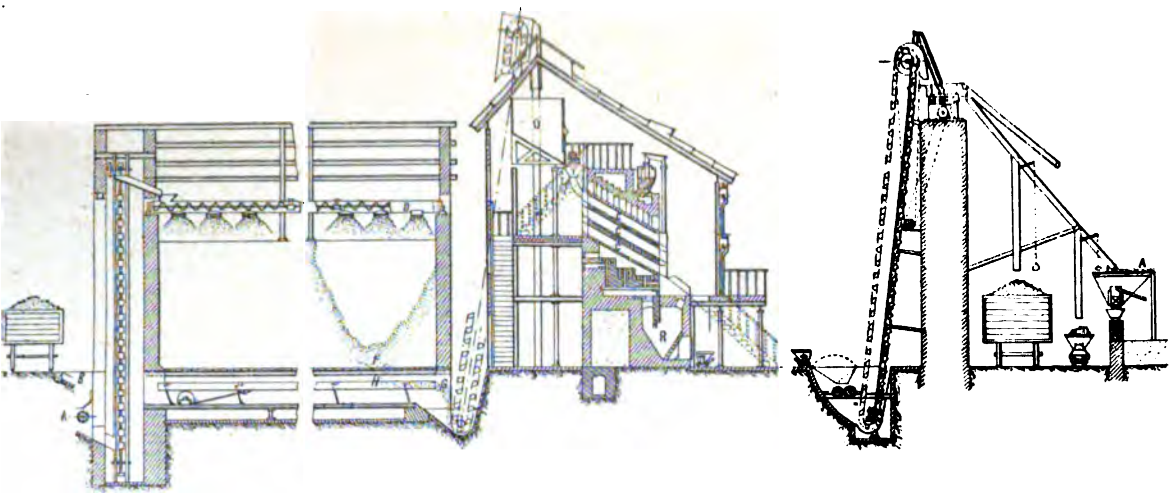


Fig. 59. — Four à cornues inclinées. — Manutention mécanique du charbon et du coke.

rable); on n'est plus limité par la durée de la charge, qui se fait très simplement. Le long de la façade des fours, se déplacent des cuillères ou des trémies, supportées par un chariot roulant. La contenance d'une trémie correspondant à celle d'une cornue, il suffit de l'amener devant la cornue pour la remplir instantanément. On peut par exemple, pour desservir les trois étages de six fours à neuf cornues, avoir trois trémies à des niveaux différents. Les trémies vont se remplir à un magasin fixe surélevé, situé sur un des côtés des fours et dont la contenance est celle qui correspond à la consommation d'une demi-journée de travail au moins. Le charbon broyé à la grosseur convenable arrive dans ce magasin, d'où il tombe ensuite dans les trémies de chargement.

Quant au défournement du coke, il se fait sans difficulté; il suffit de le pousser légèrement pour le faire tomber.

Les cornues inclinées procurent une économie de personnel de 50 0/0 environ, trois hommes et demi par four à neuf cornues en vingt-quatre heures; elles ont, en outre, l'avantage sur les procédés mécaniques de coûter meilleur marché d'installation; elles ont la même durée que les autres.

Chargeurs et déchargeurs automatiques de la Compagnie parisienne. — Depuis quelques mois, la Compagnie parisienne du Gaz a mis en expérimentation, dans son usine de la Villette, deux machines destinées à assurer automatiquement la charge des cornues et la décharge de celles-ci après achèvement de la distillation.

La machine à charger ou *chargeur-turbine* est constituée (*fig.* 60) par une turbine T de $0^m,70$ de diamètre, contenant 5 lames et actionnée par un moteur électrique de 12 chevaux fixé sur le même support. Un second moteur, de même puissance, fixé latéralement à la machine, est affecté aux déplacements de celle-ci le long de rails disposés sur le sol de l'atelier, et actionne, au moyen d'engrenages, les vis réglant l'alimentation du charbon.

Le charbon, disposé dans une trémie R de 4 tonnes de capacité, placée au sommet de la machine, se rend dans la turbine à travers une colonne télescopique, et la charge, qu'il est possible de régler une fois pour toutes, est projetée, par

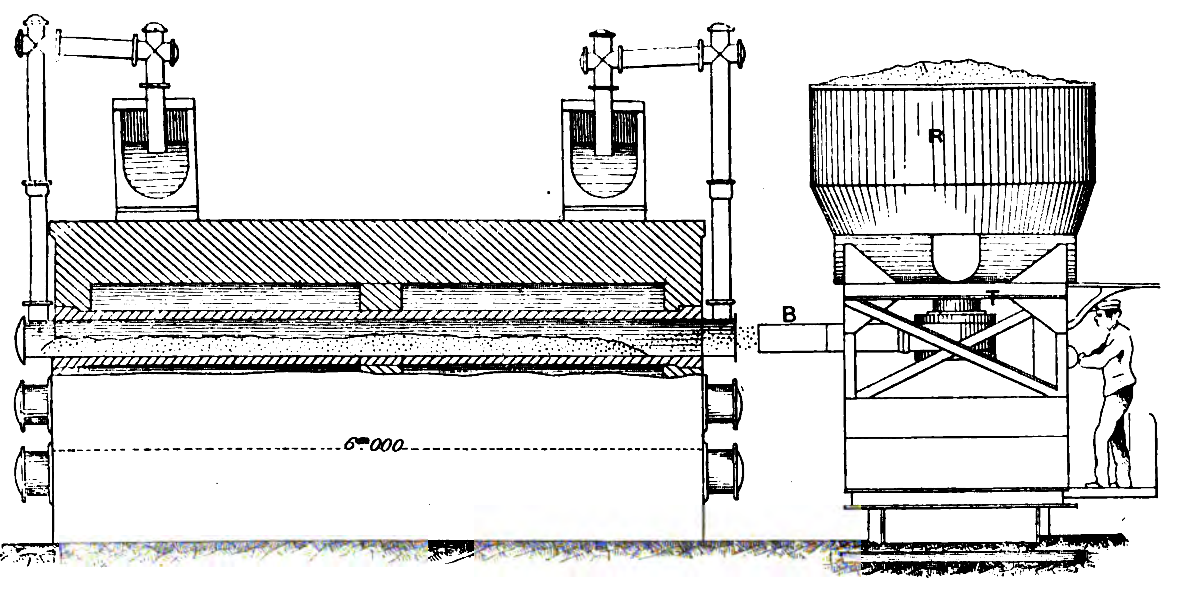


Fig. 60. — Chargeur-turbine de la Compagnie parisienne.

la force centrifuge, à travers une buse B, dans la cornue.

Des dispositifs particuliers permettent d'élever et d'abaisser la turbine et la buse au niveau des différentes rangées de cornues.

L'ensemble de la machine à charger pèse environ 10 tonnes ; son encombrement est relativement faible ($2^m,10$ de l'arrière à l'avant).

La *machine à décharger* (*fig.* 61) est constituée par un refouloir télescopique R, en trois parties, sur la tête duquel est fixée une plaque-poussoir P ajustée, ayant la forme de la section de la cornue, mais avec des dimensions légèrement plus faibles.

Sur le front de la machine est disposée une roue dentée, les dents étant assez larges pour qu'il y ait quatre gorges découpées, divisant ainsi la roue en cinq séries de dents dans lesquelles s'engagent les dents du dessous du refouloir. La section intérieure du refouloir s'engrène dans les dents de la troisième division (centre) de la roue ; la seconde partie du refouloir, dans les seconde et quatrième divisions, et la partie extérieure, avec la première et la cinquième (extrémité) divisions de la roue.

L'opération du refouloir, son élévation et sa descente et le mouvement de la machine sont obtenus par un moteur électrique de 12 chevaux.

Trois leviers assurent respectivement le déplacement de la machine, l'élévation et l'abaissement du refouloir, la mise en action de ce dernier.

Quand le refouloir a atteint l'extrémité de sa course, en chassant devant lui le coke qui sort par l'extrémité opposée K de la cornue, il retourne automatiquement à sa position initiale.

Les résultats donnés par ces engins, à l'usine de la Villette, sont, paraît-il, satisfaisants. Les cornues utilisées pour cette expérimentation sont au nombre de sept par four ; elles sont ovoïdes et ont 6 mètres de longueur sur $0^m,64 \times 0^m,35$. Les charges projetées par la turbine sont réglées à 450 kilogrammes.

Il semble d'ailleurs qu'on puisse entrevoir un sensible perfectionnement de ces engins automatiques : par exemple

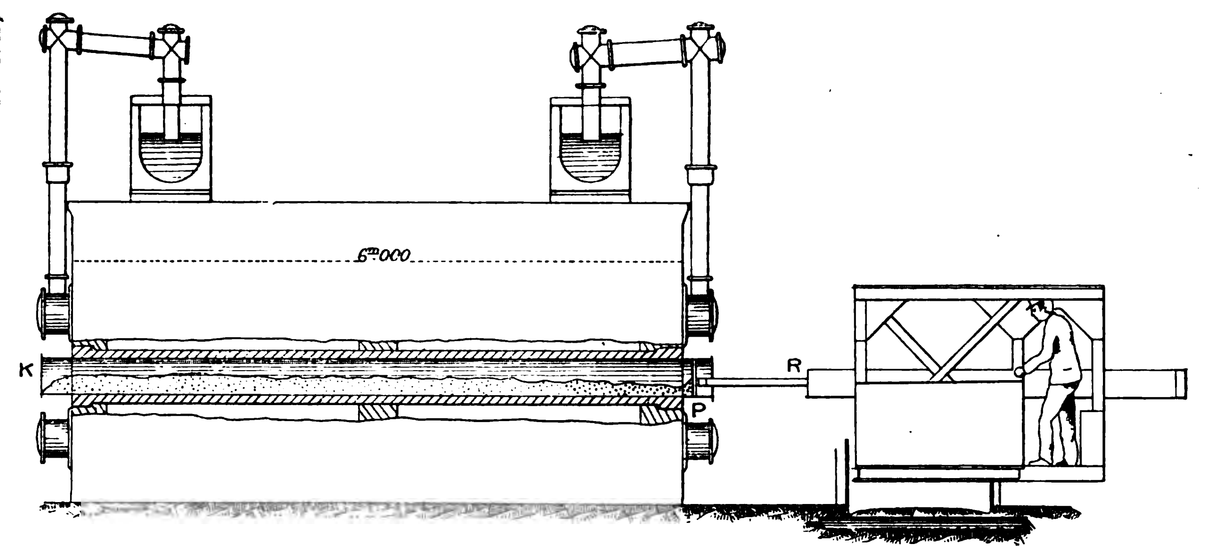


Fig. 61. — Machine à décharger les cornues.

en accouplant la machine à charger et celle à décharger et, peut-être aussi, en montant en mitrailleuse les buses de chargement et les refouloirs de façon à assurer le service simultané de plusieurs cornues.

Manutention mécanique de la houille et du coke. — Les procédés rapides précédents ne fonctionnent bien qu'à la condition que l'alimentation en houille et l'enlèvement du coke se fassent aussi rapidement; c'est dire que ces installations ne sont applicables qu'aux usines d'une certaine importance.

Le charbon, pris aux wagons, est amené, par bennes suspendues ou par wagonnets, dans les magasins situés à proximité des fours. Le charbon, avant d'être utilisé, doit être réduit à la grosseur convenable, ce qui oblige à faire passer les gros morceaux dans un concasseur. Le transport du charbon dans l'usine se fait alors très facilement; pour l'élever, on se sert de chaînes à godets; lorsque au contraire il faut le déplacer dans un plan horizontal, on se sert d'entraîneurs à hélice ou de distributeurs à secousses; le nombre des dispositifs usités est du reste assez considérable, étant donné que leur emploi devient de plus en plus fréquent.

Pour le coke, on peut le faire tomber directement dans des wagonnets circulant dans le sous-sol; il est conduit aussitôt à l'extérieur, où, après extinction complète sur place, il est repris par des élévateurs qui l'amènent au tas ou au casse-coke. On remplace les wagonnets par un entraîneur automatique; le coke incandescent tombe d'abord sur cet entraîneur, où il est éteint graduellement, et la vapeur s'échappe extérieurement (entraîneur extincteur de Brouwer); le coke est ensuite repris comme précédemment par un élévateur pour être conduit au tas ou au casse-coke en passant ensuite sur des tamis qui le distribuent à la grosseur convenable. Dans l'exemple de la figure 59, le charbon, à sa sortie des wagons, passe dans un concasseur A pour être élevé ensuite, au moyen d'une chaîne à godets, à un magasin où il est réparti en tas uniformes par la vis D. Un transbordeur à secousses H le verse ensuite dans la chaîne G qui le monte en O, pour être distribué par la trémie T aux cornues C. Le coke, reçu dans des wagonnets à sa sortie des fours, est, après concassage, envoyé directement dans les appareils de transport.

68. Distillation. — La houille commence à se décomposer entre 350° et 400° ; il se dégage du gaz d'éclairage, et le charbon se boursoufle en donnant du coke. Cette transformation se fait de la périphérie au centre à une température sensiblement constante, la chaleur se transmettant par conductibilité. Dans ces conditions, la distillation serait d'une durée inacceptable, et on a été amené à supposer que les gaz, en traversant la masse, l'échauffent également et qu'il se produit en outre des réactions élevant la température (Guéguen), comme la formation de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone. Pratiquement la distillation s'opère à des températures voisines de 8 à 900°. Au pyromètre Le Chatelier, on a mesuré 875° à 1 mètre de la tête de la cornue et 950° à 1^{m},50. Le gaz obtenu renferme des produits gazeux, des hydrocarbures liquides ou même solides aux températures ordinaires volatilisés au milieu des gaz et dont il faudra se débarrasser sous forme de goudron et d'eau ammoniacale. En résumé, la houille distillée donne quatre produits : gaz d'éclairage, eau ammoniacale, goudron et coke. La proportion de ces produits varie avec la nature de la houille employée et le mode de distillation. On a en moyenne :

RÉSULTATS DE LA DISTILLATION	ORIGINE DES HOUILLES				
	Pas-de-Calais	Centre	Marles et Bruay	Allemande	Anglaise
Rendement en gaz par 100 kilos	30^{m3},5	30^{m3},5	30^{m3}	30^{m3},3	30^{m3}
Densité du gaz	0,387	0,420	0,436	0,390	0,389
Pouvoir éclairant, dépense par carcel	114^{lit}	101^{lit},5	104^{lit},5	102^{lit},5	100^{lit}
Rendement en coke par 100 kilos	1^{hl},90	1^{hl},73	1^{hl},64	1^{hl},68	1^{hl},76
Poids de l'hectolitre de coke	40^{k},9	42^{k}	44^{k},3	44^{k},2	41^{k},9
Cendres pour 100 kg.	8,5	8,9	8,2	9	7
Rendement en goudron	5^{k},9	6^{k},5	7^{k},2	6^{k},6	6^{k},9
Rendement en eau ammoniacale	6^{l},5	6^{l}	6^{l},5	6^{l}	7^{l}

Ces chiffres n'ont rien d'absolu; le rendement d'une houille dépend de son état physique, de son mode de chargement et surtout de la température de la distillation.

Ces conditions, qui semblent multiples, se ramènent toutes à celles de la température de distillation.

Lorsqu'on distille à basse température, les hydrocarbures volatils (méthane, éthylène, acétylène), qui se dégagent, ne sont pas décomposés et s'échappent directement; quelques-uns, comme le benzol, seront maintenus en diffusion dans les gaz fixes et donneront au gaz de houille son pouvoir éclairant; d'autres, condensables (paraffine, phénols, pyridine), se déposant à l'état liquide, agiront comme dissolvants sur les carbures lourds (naphtaline, anthracène) et empêcheront les tuyaux de s'obstruer, avec cette condition toutefois que les hydrocarbures liquides n'enlèveront pas également les carbures volatils nécessaires au gaz.

Les hautes températures, au contraire, ont pour effet de décomposer les hydrocarbures volatils en gaz stables (hydrogène, méthane) ou en hydrocarbures plus lourds (benzine, naphtaline), quelquefois même avec dépôt de carbone qu'on retrouve dans la cornue à l'état de graphite. La conséquence est une diminution du pouvoir éclairant du gaz, la formation d'un goudron plus dense et l'augmentation de la teneur en naphtaline, du fait que les carbures qui les dissolvent ont été décomposés. Le coke obtenu est plus léger, plus brillant, d'une combustion plus facile. Par contre, la quantité de gaz produit atteint son maximum en un temps très court. Du reste, depuis l'apparition des brûleurs à incandescence, la présence des hydrocarbures éclairants a moins d'importance et on n'a qu'à s'inquiéter de la condensation rapide du goudron.

Ces considérations sur le degré de chaleur de la distillation expliquent pourquoi on doit charger les cornues le plus possible en ne laissant que juste l'espace nécessaire au boursouflement de la houille; la vitesse de sortie du gaz se trouvant accélérée, on évite le contact prolongé du gaz sur les parois très chaudes de la cornue. De même l'épaisseur de la charge doit être assez faible, et surtout uniforme. L'état physique doit être tel qu'il ne laisse que peu de vide, sans

exagération cependant, car, le charbon étant mauvais conducteur, il faut chauffer davantage les parois, ce qui explique que les poussiers sont à éviter. On comprend également que les produits du côté de la tête, la partie la moins chauffée, soient plus éclairants.

La condition de la durée se ramène à celle de la température. Il est certain qu'avec un chauffage intense, on recueille plus de gaz du fait même de la décomposition de certains carbures. Auduin a montré que six heures de distillation donnent 25 mètres cubes de gaz du pouvoir éclairant de 0c,705, tandis que huit heures à basse température ne donnent que 16 mètres cubes, à 1c,185, il est vrai. Les longues distillations ont donc les avantages des basses températures : mais tous ces avantages disparaissent devant celui de la rapidité de la distillation, qui permet d'obtenir un meilleur rendement des fours. Quelle que soit la durée de la distillation, de nombreuses expériences ont montré que, pendant la première heure, on obtenait le gaz le plus éclairant et que les deux suivantes donnaient la plus grande quantité de gaz (60 0/0) ; puis le pouvoir éclairant et la quantité allaient constamment en diminuant d'une façon très sensible. La durée de la distillation varie de trois à six heures, le plus souvent quatre heures quarante-huit minutes.

En résumé, on peut compter sur un rendement de 30 mètres cubes par 100 kilogrammes de houille; si on évalue le chargement moyen d'une cornue à 120 kilogrammes, la quantité de gaz produite en vingt-quatre heures sera de 215, 180 et 140 mètres cubes, suivant que les chargements se feront toutes les quatre heures, quatre heures quarante-huit ou six heures.

69. Gaz de la distillation. — Le produit gazeux qui s'échappe des cornues est un mélange de gaz et de vapeurs, les uns indispensables pour la combustion et l'éclairage, les autres nuisibles. La composition d'un gaz moyen est :

		Pas-de-Calais	Centre	Marles et Bruay	Allemagne	Angleterre
		gr	gr	gr	gr	gr
	Benzol en poids par mètre cube	37,70	41,16	40,51	34,66	44,90
Composition du gaz en 0/0 du volume	Carbures absorbables par le brome	3,66	4,69	4,71	4,72	4,60
	Méthane et azote	31,81	34,27	32,55	32,65	33,57
	Hydrogène	53,14	49,50	49,39	52,81	52,64
	Oxyde de carbone	7,84	8,82	9,78	7,83	7,25
	Acide carbonique	2,06	2,13	2,99	1,56	1,34
	Oxygène	0,49	0,58	0,56	0,44	0,59

Comme éléments concourant à la combustion, on a :

L'*hydrogene* H, qui est un gaz éminemment combustible : 1 kilogramme dégage 34.860 calories, soit 2.882 calories par mètre cube ; le produit de la combustion est de la vapeur d'eau ;

L'*oxyde de carbone* CO et le *méthane* CH^4 sont également combustibles, mais en dégageant moins de chaleur, 2.470 et 13.063 calories par kilogramme ; le produit de la combustion est un mélange d'acide carbonique et d'eau. L'oxyde de carbone provient de la combustion incomplète à haute température du carbone par l'oxygène de l'air des cornues ou de la houille. Le méthane se dégage surtout dans la distillation des végétaux décomposés ; il provient également, comme l'hydrogène, de la décomposition des hydrocarbures aux hautes températures, ce qui explique la grande proportion de ce gaz dans le volume total. Le méthane fortement chauffé donne de l'hydrogène, de l'acétylène et du benzol, ce dernier provenant de la décomposition de l'acétylène. Le méthane et l'hydrogène forment, avec l'oxygène, des mélanges détonants ; ils brûlent, ainsi que l'oxyde de carbone, avec une flamme bleue.

Les hydrocarbures, en proportion très faible, ce qui rend la variation plus sensible, appartiennent à plusieurs groupes ; on a :

1° Des carbures lourds de la série aromatique, se présentant, comme la *benzine* C^6H^6, le *toluène* C^7H^8, le *xylène* C^8H^{10}, sous forme des vapeurs ; les points d'ébullition sont en effet 80, 110 et 140° ; le mélange de ces trois corps constitue le *benzol*, dont 1 mètre cube de gaz contient à peine 10 à

15 litres. 100 kilogrammes de houille donnent à peu près 1 kilogramme de benzol qui reste tout entier dans les 30 mètres cubes de gaz. Le benzol brûle avec une flamme fuligineuse en formant de l'acide carbonique et de l'eau. Il est peu soluble dans l'eau, 3 à 8 0/0, suivant sa tension de vapeur, qui est de 59 millimètres à 15°, beaucoup dans l'huile de paraffine refroidie et dans l'alcool ; il se combine avec un mélange d'acide nitrosulfurique pour former un précipité de dinitrobenzol; chauffé au rouge, il se décompose en donnant de l'hydrogène et des carbures.

Un autre carbure de la même série, qu'on rencontre sans justifier sa formation, est la *naphtaline* $C^{10}H^8$, qui ne fond qu'à 79° et bout à 218°. A 15°, sa tension de vapeur est de $0^{mm},03$ et $0^{gr},5$ sature 1 mètre cube de gaz. Elle est soluble dans les goudrons, l'éther, l'alcool bouillant et l'acide picrique, avec lequel elle forme un composé solide facile à isoler ;

2° Des gaz éclairants de la série C^nH^{2n}, comme l'*éthylène* C^2H^4, le *propylène* C^3H^6, le *butylène* C^4H^8 et beaucoup d'autres dont le pouvoir éclairant diminue à mesure que n augmente. Le plus important est l'éthylène, qui, sous l'action de la chaleur, se dissocie en donnant du carbone (graphite des cornues), de l'acétylène et du méthane, ce qui augmente la proportion de ce dernier. Il brûle avec une flamme très éclairante (11.857 calories) en donnant de l'eau et de l'acide carbonique. Il en est de même des autres composés de cette série, qui ont tous la propriété d'être absorbés par le brome ;

3° Des carbures de la série C^nH^{2n-2}, dont le plus important est l'*acétylène* C^2H^2, qu'on trouve dans toutes les combustions incomplètes ; c'est un carbure très stable à la température ordinaire ; chauffé au rouge, il se décompose en donnant naissance à des carbures polymères : benzine, styrolène, etc., avec des traces de naphtaline et de carbone. On verra ultérieurement les propriétés de ce gaz très éclairant.

Les produits nuisibles sont :

L'acide *carbonique* CO^2, formé par la combustion complète du carbone avec dégagement de chaleur (8.080 calories), se trouve dissocié à son tour en oxyde de carbone lorsqu'on le fait passer sur du charbon incandescent; la quantité d'acide transformé est fonction du temps et de la température

(Bodouard). C'est un gaz inerte faisant perdre au gaz d'éclairage son pouvoir éclairant, sans lui apporter aucune chaleur de combustion. Peu soluble dans l'eau, on profite de sa facilité de combinaison avec les bases pour s'en débarrasser. Le gaz en renferme 2 à 5 0/0, proportionnellement, en quelque sorte, à la teneur en oxygène de la houille.

L'*hydrogène sulfuré* H^2S, produit par l'action de l'hydrogène sur le soufre des pyrites de la houille, ou encore par la décomposition des sulfates ou du sulfure de carbone, est un composé qui, quoique combustible, doit être enlevé, car non seulement il présente des inconvénients dans l'emploi du gaz, mais il est, en plus, éminemment toxique. Le gaz non épuré en renferme 5 à 10 grammes, soit 2 à 4 0/0 par mètre cube; on doit ramener cette teneur à $0^{gr},5$, soit 0,20 à 0,30 0/0 en volume. L'acide sulfhydrique attaque la plupart des solutions métalliques en donnant des sulfures insolubles. Les oxydes métalliques ou alcalins sont attaqués également par cet acide; on obtient des sulfures correspondants avec élimination d'eau.

L'*ammoniaque* AzH^3, qui prend naissance dans la décomposition des matières azotées à haute température, est une base énergique, très soluble dans l'eau et dans les acides avec lesquels elle se combine pour donner les sels ammoniacaux correspondants. L'ammoniaque se décompose au contact du charbon porté au rouge en donnant de l'acide hydrocyanique HCAz. Le gaz épuré renferme 0,3 à 1,3 0/0 d'ammoniaque.

Le *cyanogène* CAz, résultat de la combinaison directe de l'azote et du carbone à haute température, se trouve également dans le gaz à l'état d'acide hydrocyanique, par suite de la décomposition de l'ammoniaque par le charbon. Le cyanogène forme, avec les métaux alcalins, des cyanures très recherchés.

Au contact des sulfures alcalins, on obtient les sulfocyanures correspondants; ces sulfures alcalins proviennent, comme on l'a vu, de l'action de l'acide sulfhydrique sur un alcali. L'acide hydrocyanique a une grande affinité pour le fer sous forme de sulfure et forme facilement du cyanure de fer qui, au contact d'un alcali, donne des ferrocya-

nures correspondants. Les ferrocyanures, en s'oxydant, donnent du bleu de Prusse. Les réactions sont très complexes, surtout en présence des divers composés du gaz. Le cyanogène n'entre que pour une faible quantité dans le gaz épuré, $0^{gr},30$ à $0^{gr},40$ par mètre cube; par contre, on en rencontre 20 à 30 grammes par mètre cube dans les résidus d'épuration.

Le *sulfure de carbone* CS^2, dont la quantité atteint 0,08 à 0,10 par mètre cube, se forme vers la fin de la distillation, par suite de l'action du soufre de la houille sur le carbone; c'est un gaz combustible qui, en brûlant, donne de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux. Il se combine facilement avec les sulfures alcalins pour former des sulfocarbonates. Il est assez soluble dans l'eau.

L'*azote* se rencontre dans le gaz dans la proportion de 2 à 4 0/0 en volume; la houille en renferme 1 à 3 0/0 en poids. Il donne naissance à des composés avec l'hydrogène ou le carbone, que l'on retrouve ensuite dans les sous-produits du gaz.

Pour enlever au gaz les produits nuisibles, on le soumet à deux sortes d'épuration : physique et chimique. Les moyens physiques employés sont la dissolution et la condensation. La première s'applique plus particulièrement à l'ammoniaque, et la condensation, aux carbures lourds qu'on ne peut conserver et dont le mélange constitue le goudron. L'épuration chimique sert à faire disparaître l'hydrogène sulfuré et quelquefois l'acide carbonique.

70. Épuration physique. — *Barillet.* — En sortant de la cornue, le gaz se rend, au moyen d'un tuyau ascensionnel de 130 à 160 millimètres, dans un cylindre horizontal de 500 à 800 millimètres, ou barillet, qu'on place au-dessus des fours. Le gaz devant se refroidir aussitôt sa sortie de la cornue, les colonnes montantes doivent être assez longues, peu épaisses et d'un diamètre assez fort. Chacune d'elles se termine à la partie supérieure par un tuyau oblique ou pipe (*fig.* 55 et 55 *bis*) auquel se raccorde un tube plongeur qui s'enfonce de 30 à 40 millimètres dans l'eau remplissant à moitié le barillet. Les colonnes montantes s'obstruent facilement, il faut les

décrasser très souvent; on se sert pour cela d'outils en forme de tarières.

Le barillet a pour but d'arrêter les goudrons lourds et l'ammoniaque, tout en formant joint hydraulique entre les cornues et les appareils qui suivent. Les plongeurs pénètrent dans l'eau de 25 à 40 millimètres, empêchant tout refoulement du gaz dans les cornues; au contraire, lorsque ces dernières sont en service, le gaz a une pression suffisante pour vaincre cette colonne d'eau avant de se répandre dans le barillet. La surface du niveau de l'eau dans le barillet doit être 10 fois équivalente à la section des plongeurs, dont la hauteur d'immersion est aussi faible que possible, de manière à diminuer la pression dans les cornues; la quantité d'eau doit être telle que la température soit à 60°. Le goudron condensé a alors 1,2 à 1,25 de densité, il contient 25 0/0 de matières volatiles et 75 0/0 de brai.

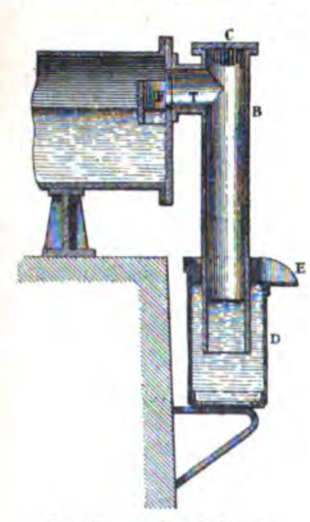


Fig. 62. — Siphon de barillet.

Les barillets sont munis, au moins, de deux orifices, l'un pour le départ du gaz, l'autre pour la vidange du goudron. L'écoulement du goudron peut être continu ou intermittent. On peut, pour l'évacuation continue, adopter le siphon de la figure 62 : B est une pièce en fonte munie d'un tampon de nettoyage C, l'extrémité D plonge dans une cuvette E supportée par des consoles, et la branche T est boulonnée contre le barillet, le siphon se prolonge par une partie F s'enfonçant dans le baquet du barillet. Il faut avoir soin de faire le fond du barillet incliné pour favoriser le départ du goudron.

Il est nécessaire de pouvoir nettoyer le barillet de temps

à autre; on fait coïncider cette opération avec la visite du four, ce qui amène à avoir un barillet isolé par four. On doit pouvoir faire le nettoyage en cours d'exploitation. Dans ce cas, le barillet est divisé longitudinalement par une cloison s'arrêtant au-dessus du fond; l'un des compartiments reçoit les plongeurs, l'autre se ferme par de petites trappes en tôle ou tabatières qu'il suffit de soulever pour enlever les dépôts de goudron.

Collecteur. — Jeu d'orgue. — A sa sortie du barillet, le gaz, à 60° environ, est dirigé dans un conduit horizontal ou collecteur d'assez fort diamètre, 700 millimètres pour un débit de 3.000 mètres cubes par jour et 1.000 pour les débits supérieurs. On n'emploie guère le collecteur que dans les usines importantes; on le place alors dans le local même des fours, afin d'obtenir une température assez élevée pour empêcher toute condensation des carbures éclairants. En effet, la dissolution du benzol dans le goudron est d'autant plus grande que celui-ci est à basse température; de plus, les dissolvants de la naphtaline se condensant très rapidement laisseraient une trop grande quantité de cette matière dans le gaz. C'est un principe, du reste, que la condensation doit se faire progressivement.

A sa sortie du collecteur, le gaz contient du goudron léger et des vapeurs ammoniacales; on complète la condensation dans une série de tuyaux verticaux, ou jeu d'orgue, renversés sur une cuve, où les produits condensés se déposent pour s'écouler ensuite dans des citernes (*fig.* 63). La cuve est divisée par des cloisons verticales pour obliger le gaz à passer successivement dans chaque tuyau à une vitesse de 1 mètre par seconde au plus. On compte en général 10 à 15 mètres carrés de surface par 1.000 mètres cubes de gaz fabriqués en vingt-quatre heures.

On peut diminuer le nombre des tuyaux, tout en conservant la même surface, en leur donnant une forme annulaire (Kirkham) ou encore celle d'un faisceau tubulaire enfermé dans un cylindre (Reuther); le gaz, dans ce dernier cas, passe dans les tubes qui sont entourés d'eau; il entre par le haut, et l'eau, par le bas.

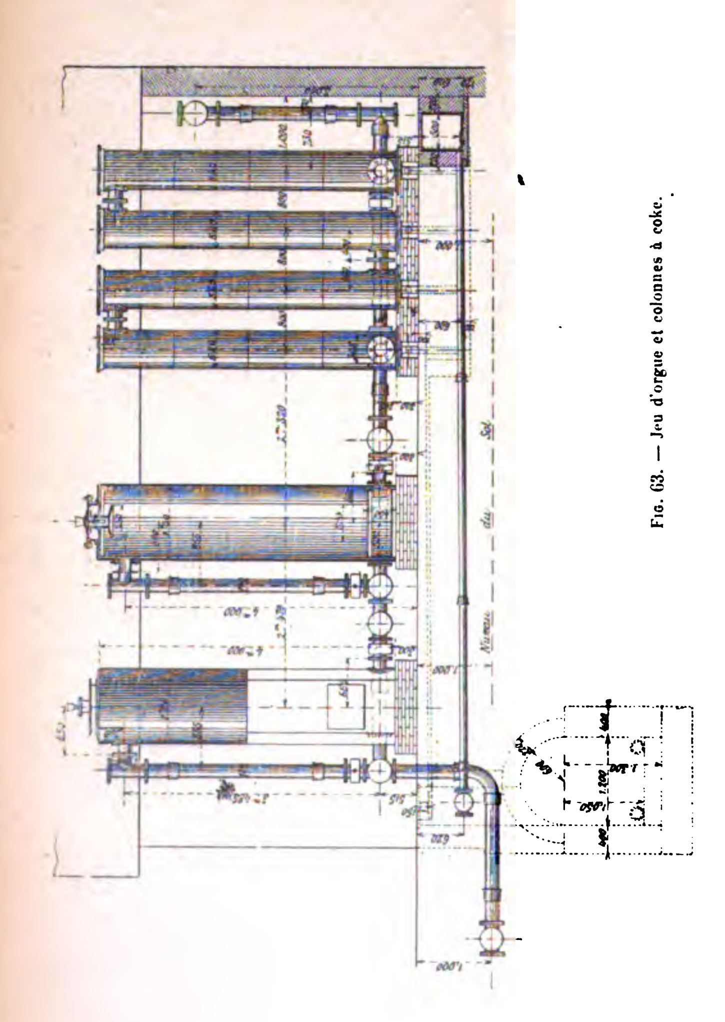


FIG. 63. — Jeu d'orgue et colonnes à coke.

Le gaz pénétrant dans le jeu d'orgue à 55° et devant en sortir à 12 ou 15°, il est facile, sa chaleur spécifique étant de 0,480, de calculer la surface réfrigérante nécessaire. On recueille 20 à 22 kilogrammes de goudron et d'eau ammoniacale par 1.000 mètres cubes de gaz. Les eaux ammoniacales à 2 ou 3° B. contiennent environ 73 0/0 de sels fixes, et 27 de composés volatils, soit 2 kilogrammes à 2^{kg},500 d'ammoniaque par hectolitre; le goudron de 1,2 de densité ou 25° B. renferme 30 à 40 0/0 de matières volatiles à 350° et 70 à 60 0/0 de brai.

Condenseurs à choc. — Quelle que soit l'étendue du jeu d'orgue, la condensation n'est jamais complète; il reste toujours une certaine quantité de goudron entraîné à l'état vésiculaire. On a été amené à compléter cette condensation par le choc ou par le frottement du gaz sur une paroi.

Le principe consiste à faire heurter normalement le gaz contre des surfaces planes perforées pour le laisser continuer ensuite; il est indispensable que les trous de la surface de choc ne correspondent pas aux veines gazeuses. Dans le condenseur *Pelouze et Audouin* (*fig.* 64), l'organe principal est une cloche mobile à section octogonale, formée de deux séries de plaques parallèles écartées de 1,5 à 2 millimètres et percées de trous de 1^{mm},5. Après avoir traversé les trous d'une plaque, la veine fluide rencontre les pleins de la deuxième et s'échappe par ses trous. Cette cloche est logée dans un cylindre en fonte muni de deux tubulures : celle du bas sous la cloche servant à l'arrivée du gaz, celle du haut pour la sortie. La cloche est équilibrée par un contrepoids, de manière à suivre les variations de la production, qui se traduisent par des changements de pression. L'appareil absorbe 40 à 60 millimètres de pression et ne doit pas fonctionner au-dessous de 20. La température est de 15° environ. Le goudron condensé, de 1,165 de densité, est recueilli dans la cuve de flottaison de la cloche.

Un autre condenseur à choc est celui de *Servier ;* la cloche à tôles perforées est remplacée par des tiges cylindriques formant rideau et disposées suivant les génératrices d'un cylindre vertical. Le goudron n'encrasse plus les vides et

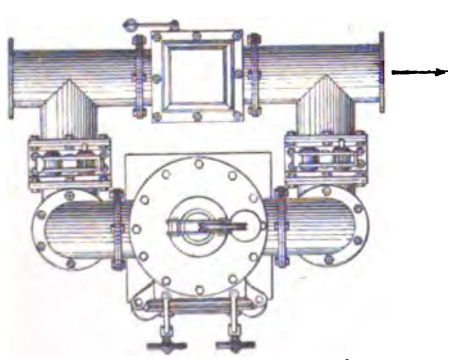


Fig. 64. — Condenseur Pelouze et Audouin.

coule le long des tiges. Il absorbe 20 à 25 millimètres de pression. Moins parfait que le précédent, il convient surtout pour les petites usines.

Le condenseur à choc donne 70 à 90 kilogrammes de goudron par 1.000 mètres cubes de gaz, soit un quart du goudron total. En résumé, la condensation du goudron doit être lente et continue, sans transition brusque, et jamais le gaz ne doit être remis en contact avec des produits condensés précédemment.

Scrubbers. — Condenseurs-laveurs. — Les appareils précédents ne peuvent servir qu'à retenir le goudron. Pour se débarrasser de l'ammoniaque, on a recours à la propriété qu'a ce gaz de se dissoudre dans l'eau. La mise en contact du gaz et de l'eau se fait de plusieurs façons; aussi le nombre des condenseurs est-il considérable.

On emploie de grands cylindres verticaux en fonte de 3 à 4 mètres de hauteur et d'un diamètre proportionné au débit du gaz, qu'on emplit de coke; on compte généralement 25 à 30 hectolitres de coke par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures. Les cylindres sont généralement au nombre de deux; le gaz arrive successivement au bas de chaque appareil, tandis que, par le haut, on fait couler de l'eau qui arrose le coke, à raison de 80 à 100 litres d'eau par 1.000 mètres cubes de gaz. Il faut assez d'eau pour bien purifier le gaz, mais pas trop pour obtenir des eaux ammoniacales suffisamment saturées. Pour plus de simplicité, on a quelquefois un seul cylindre séparé en deux par un diaphragme vertical. L'eau peut être envoyée, d'une façon continue ou à intervalles réguliers, au moyen d'augets basculeurs se vidant alternativement et brusquement sur le coke. On a imaginé aussi de se servir d'injecteurs, qui envoient, de bas en haut, de l'eau sous pression pulvérisée, arrosant complètement la veine gazeuse.

Il existe une autre catégorie de condenseurs dits *à barbotage* dérivés des colonnes distillatoires. L'appareil consiste en une série de plateaux superposés possédant, au milieu, une large ouverture à rebord. Une paroi plane au-dessus du plateau force le gaz à se rabattre horizontalement et à s'échapper par des orifices ménagés sur la périphérie, où il rencontre la

nappe d'eau circulant en sens inverse et coulant vers l'orifice du milieu. Le lavage ainsi obtenu est fait d'une façon méthodique. Tous les plateaux sont enfermés dans un cylindre; le haut est libre de manière à recevoir une certaine quantité de coke. On compte 3 à 4 mètres cubes d'appareil par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures, avec une consommation d'eau de 60 litres; l'eau ammoniacale est à 4°, soit 3 kilogrammes d'ammoniaque par hectolitre.

Au lieu de plateaux aussi compliqués, on peut employer de simples tôles perforées avec registres permettant de faire varier le nombre des trous et, par suite, la vitesse du gaz; pour un bon lavage, on absorbe 20 à 30 millimètres de pression.

Pour petites usines, on a le scrubber Chevallet, qui n'est autre qu'un cylindre vertical coupé par une série de planchers horizontaux munis de petites cheminées par où s'échappe le gaz. Chaque diaphragme est pourvu d'un rebord vertical de manière à former cuvette qu'on remplit de coke ou de copeaux de bois. L'eau arrive par le haut, séjourne quelque temps dans chaque plateau avant de tomber dans celui au-dessous. Pour le nettoyage, il suffit de retirer tous les planchers d'un seul coup au moyen d'une tige qui les relie tous entre eux.

Une dernière catégorie de condenseurs sont les laveurs mécaniques, parmi lesquels le laveur *Ledig*, adopté en Allemagne, et le *Standard*, d'origine anglaise. Le premier est un laveur à étages, où deux séries de cloches perforées sont mues alternativement par un balancier, de manière à retirer de l'eau une série de compartiments superposés. Le mouvement se fait dans le sens de l'aspiration du gaz, de façon à compenser la perte de pression produite au passage des tôles perforées; l'appareil convient pour des productions de 25.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Le laveur *Standard* (*fig.* 65) est formé par une série de tambours verticaux en fonte, traversés par un arbre sur lequel sont clavetés des disques en tôle ou en bois boulonnés ensemble. L'intervalle de 2 à 3 millimètres entre deux disques est obtenu au moyen de petits mamelons emboutis dans la tôle, ou de petites entretoises. L'eau, à 8 ou 10° de

chaleur, arrive d'un côté de l'appareil et le gaz en sens inverse. L'arbre fait 5 à 10 tours par minute, entraînant les disques, dont une moitié plonge dans l'eau, l'autre restant dans le

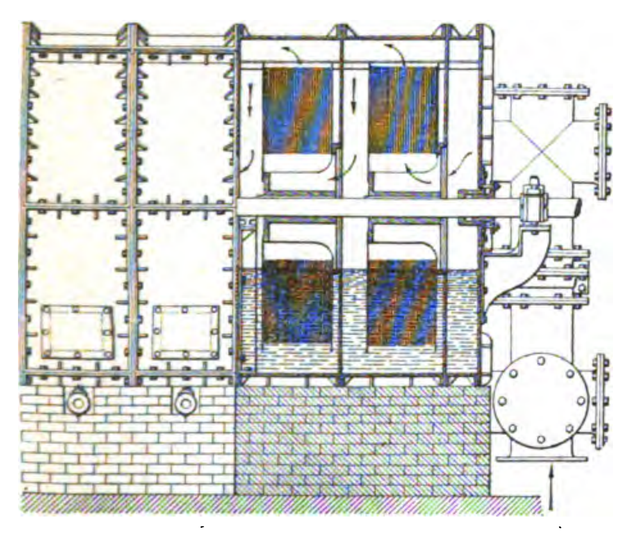


Fig. 65. — Laveur Standard.

gaz. La pression absorbée est de 4 à 6 millimètres. On compte 45 à 55 litres d'eau par tonne de houille ; l'eau ammoniacale obtenue à 2 ou 3° B. contient en poids, par 20 litres de liquide, 500 grammes d'ammoniaque, 400 d'acide carbonique et 150 de soufre.

M. Bueb se sert du Standard pour retenir la naphtaline et le cyanogène. Dans trois des tambours, on met de l'anthracène (point d'ébullition, 250 à 400°) qui dissout la naphtaline, on ajoute 4 0/0 de benzol destiné à saturer le dissolvant et empêcher toute perte de pouvoir éclairant ; 80 kilogrammes de cette huile, absorbant 25 0/0 de leur poids de naphtaline, épurent 20.000 mètres cubes.

Pour retenir le cyanogène, deux autres tambours reçoivent une solution de sulfate de fer à 18° B. ; en présence de l'am-

moniaque du gaz, il se forme un ferrocyanure d'ammoniaque insoluble correspondant à 21 grammes de sulfate et à 4 grammes de cyanogène par mètre cube, tout le sulfate, 200 kilogrammes environ, est décomposé après un lavage de 10.000 mètres cubes. Au lieu du Standard, on peut employer un scrubber ordinaire, avec du crin végétal, pour supporter la matière absorbante. Ces épurations ont lieu après la condensation mécanique et avant celle de l'ammoniaque.

L'absorption de l'ammoniaque doit se faire à basse température et on doit se servir exclusivement d'eau pure à la fin, sauf à adopter des eaux ammoniacales au commencement, pour les saturer et avoir, de plus, l'acide carbonique décomposé, par le sulfhydrate d'ammoniaque, en carbonate et acide sulfhydrique absorbé ultérieurement.

71. **Extracteurs.** — Entre les cornues et l'épuration chimique, on intercale un appareil spécial désigné sous le nom

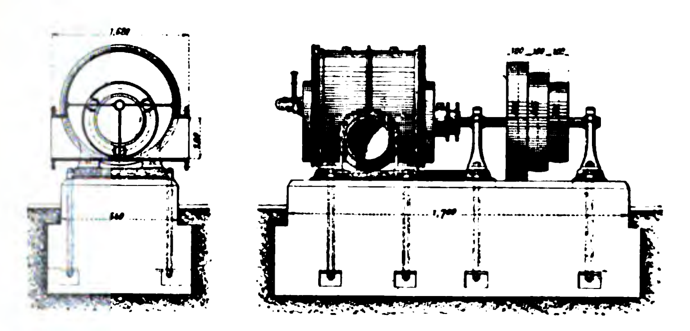


Fig. 66. — Extracteur Beale.

d'extracteur ou d'exhausteur, ayant pour but de faciliter la circulation du gaz. Avant son emploi, la pression dans les fours devait avoir 300 à 400 millimètres pour vaincre toutes les résistances jusqu'au gazomètre. Cette pression excessive avait l'inconvénient d'augmenter les fuites et la quantité de graphite; de plus il fallait arrêter la distillation dès que la production baissait. Les extracteurs ont ramené cette pression

à 30 ou 40 millimètres, augmentant le rendement en gaz de 20 à 30 0/0; aussi leur emploi est devenu général.

Il y a deux sortes d'extracteurs : 1° les pompes rotatives; 2° les extracteurs à jet de vapeur.

Les pompes rotatives et, en particulier, l'extracteur Beale sont assez répandues. L'aspiration est produite par la rotation de deux plaques glissant l'une sur l'autre à l'intérieur d'un cylindre horizontal (*fig.* 66). L'extracteur peut être à deux ou trois ailes; son fonctionnement est très régulier; il peut marcher à vitesse constante ou variable, 70 à 100 tours. On le place après le jeu d'orgue, le goudron facilitant son fonctionnement. On compte généralement 1 cheval par 100 mètres cubes de gaz à l'heure et par centimètre de contre-pression. Du reste, en désignant par h cette contre-pression en mètres, par Q le débit en mètres cubes par seconde, la puissance effective nécessaire T sera égale à :

$$T = 45Qh.$$

L'appareil précédent nécessite un moteur spécial; on a imaginé de supprimer ce dernier en appliquant au gaz le

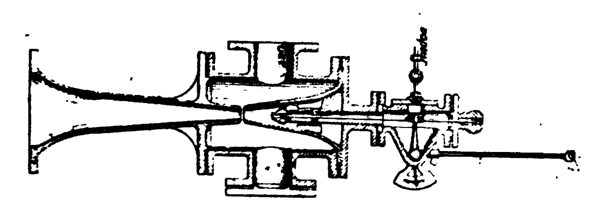


FIG. 67. — Extracteur à jet de vapeur.

principe des injecteurs de vapeur. L'extracteur se compose d'un tuyau avec aiguille pour le réglage de la sortie de la vapeur (*fig.* 67); le gaz aspiré par cette dernière se rend dans un cylindre à tuyaux verticaux plongés dans de l'eau froide, de manière à condenser la vapeur mélangée. Au contraire du précédent, il faut placer l'extracteur après la

condensation complète du goudron, car ce produit ne tarderait pas à l'encrasser. On consomme 8 kilogrammes de vapeur à 5 atmosphères par 1.000 mètres cubes de gaz aspiré et par centimètre de contre-pression; pour le condenseur, il faut, dans ces conditions, lui donner 4 mètres carrés de surface réfrigérante.

L'emploi d'extracteurs nécessite celui de régulateurs. Il peut y avoir, en effet, excès ou arrêt dans la production des cornues et, quel que soit le cas, risque d'accident. Le principe des régulateurs consiste à installer, sur la conduite de gaz, une cloche dont les mouvements modifient soit la quantité de vapeur admise par l'extracteur (à vapeur ou pompe à vitesse variable), soit la quantité de gaz (pompe à vitesse constante), en laissant échapper celui-ci directement ou en le faisant revenir sur lui-même pour être aspiré à nouveau. Le régulateur est installé sur une conduite dérivée formant by-pass.

72. Épuration chimique. — *Matières épurantes.* — Cette épuration a pour but de débarrasser le gaz des produits nuisibles : acide carbonique, sulfhydrique, cyanogène, que l'épuration physique n'a pu enlever. Elle est basée sur la propriété qu'ont ces gaz de se combiner avec d'autres substances donnant un produit facile à retirer.

L'acide carbonique est absorbé par la chaux, avec laquelle il donne du carbonate de chaux. L'hydrogène sulfuré se combine avec le sesquioxyde de fer pour former du sulfure de fer et de l'eau.

$$Fe^2O^3H^2O + 3H^2S = Fe^2S^3 + 4H^2O.$$

La teneur en H^2S du gaz est, par mètre cube, de $8^{gr},5$; il faut donc $13^{gr},33$ de sesquioxyde ; autrement dit, 100 kilogrammes d'oxyde retiennent $6^{kg},459$ d'acide sulfhydrique et épurent, par conséquent, 760 mètres cubes. Il existe plusieurs procédés pour obtenir le sesquioxyde de fer.

Dans le procédé de *Laming*, on constitue un mélange comprenant de la chaux, du sulfate de fer ou couperose

verte et de la sciure de bois humide qui sert d'absorbant. Pour 1 mètre cube de sciure de bois de 250 kilogrammes, il faut 3 hectolitres de chaux (180 kilogrammes) et 3 hectolitres de sulfate (350 kilogrammes); le mélange au contact de l'air donne lieu à plusieurs réactions : la chaux décompose le sulfate de fer en donnant du sulfate de chaux et du sesquioxyde de fer:

$$FeSO^4 + Ca(OH)^2 = CaSO^4 + Fe(OH)^2$$
$$2Fe(OH)^2 + O = Fe^2O^3H^2O + H^2O$$

Le mélange est brassé jusqu'à ce qu'il devienne brun, il reste un peu de chaux non attaquée. Le sulfate de chaux, à son tour, agit sur le carbonate d'ammoniaque en donnant du carbonate de chaux, du sulfate d'ammoniaque et de l'acide carbonique. Le sulfate de fer s'obtient au moyen de débris de fer qu'on dissout dans l'acide sulfurique jusqu'à ce que le liquide pèse 26 à 30° B.; on le mélange alors à la chaux et à la sciure.

On se sert également de minerais de fer, le prix d'achat étant peu élevé; il suffit qu'ils contiennent 50 0/0 de sesquioxyde pour être économiques. On peut obtenir cet oxyde artificiellement en oxydant de la limaille de fer par l'eau ammoniacale : 5 à 6 0/0 de liquide donnent 50 0/0 d'oxyde. Enfin, en mélangeant du fer, du soufre et de l'eau, on obtient du protosulfure de fer qui, à l'air, se transforme en sesquioxyde; mais il faut, pour cela, disposer de soufre en quantité suffisante.

La matière épurante enlève non seulement l'hydrogène sulfuré, mais encore le cyanogène qui existe dans le gaz sous forme de cyanogène et d'acide hydrocyanique. Ces deux gaz, en présence des sulfures, donnent des ferrocyanures qui, soit à l'air, soit au contact de l'oxyde de fer, forment alors du bleu de Prusse, qu'on trouve dans les résidus. Les sulfocyanures se forment également par l'action de l'hydrogène sulfuré, en présence d'une base, ordinairement l'ammoniaque, sur le cyanogène; le composé obtenu est un sulfocyanure d'ammonium AzH^4CAz. D'après plusieurs ana-

lyses, on trouverait dans la matière épurée : 30 à 45 0/0 de soufre, 5 à 10 0/0 de sulfocyanure d'ammonium, 4 à 5 0/0 de ferrocyanure d'ammonium, 10 à 15 0/0 de bleu de Prusse, du sulfate d'ammoniaque, du sesquioxyde de fer non utilisé.

La matière épurante jouit d'une propriété précieuse : celle, après épuisement, d'être revivifiée au contact de l'air en redonnant du sesquioxyde de fer utilisable et du soufre ; on a :

$$Fe^2S^3 + 3O = Fe^2O^3 + 3S\,;$$

la réaction a lieu avec dégagement de chaleur et de vapeur d'eau. A chaque revivification, la matière s'accroît de 10 0/0 de soufre.

Épurateurs. — La matière épurante est disposée dans une cuve en fonte (*fig.* 68) parallélipipédique ou cylindrique sur des claies ou des planches en bois perforées. Le gaz, arrivant par le haut ou le bas à une des extrémités de la cuve, passe successivement sur chaque couche de matière avant de sortir à l'autre extrémité. On compte ordinairement 3 à $3^{m^2},5$ de surface de claie par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures.

L'épaisseur des couches varie de 500 à 600 millimètres lorsque la matière est mélangée à de la sciure de bois ; si on l'emploie seule, l'épaisseur n'est plus que de 70 à 80 millimètres ; cette dernière pratique ne vaut pas la précédente.

Il est alors facile d'en déduire le nombre de claies, et, par suite, celui des épurateurs, à raison de quatre claies par appareil. La vitesse de passage du gaz est assez faible, 3 à 5 millimètres par seconde ; elle est d'autant moins grande que la matière est ancienne et par suite moins poreuse.

On a cherché à diminuer l'épaisseur des couches ramenée à 350 ou 400 millimètres, en augmentant la surface de contact avec le gaz. On donne alors aux claies la forme de jalousies (*fig.* 69) dont les différents barreaux sont suffisamment

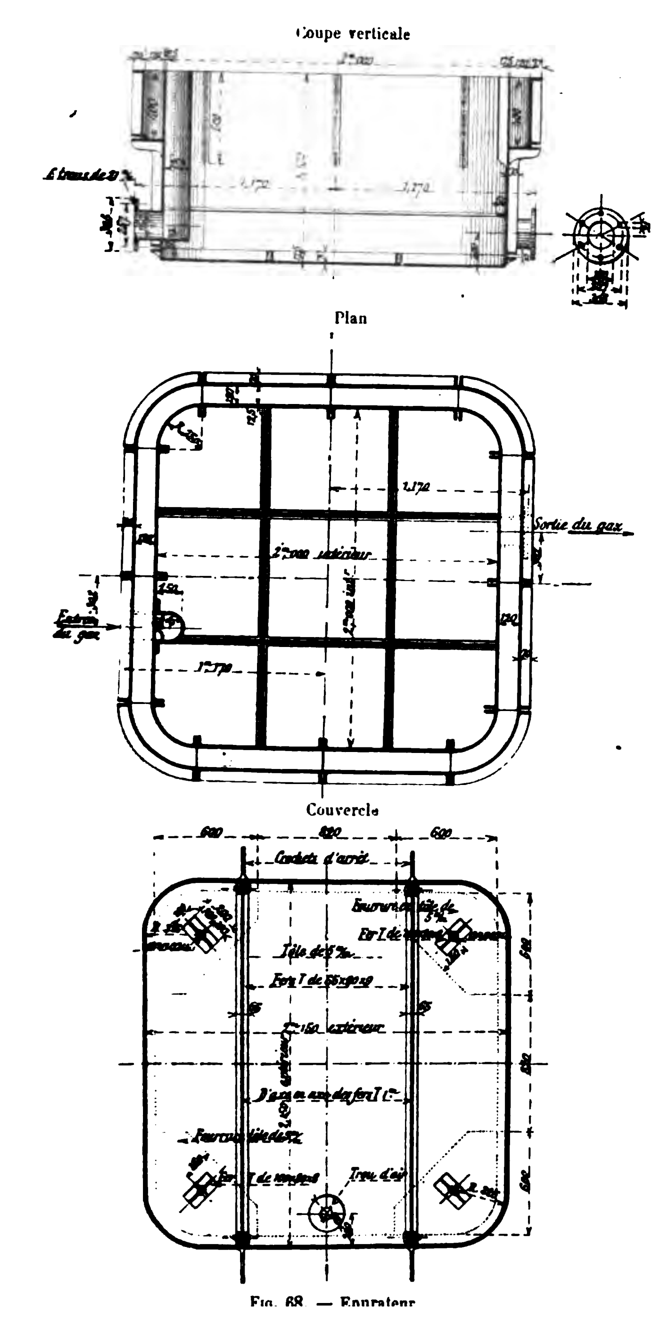


Fig. 68. — Épurateur

inclinés pour que la matière ne tombe pas; la surface utilisable est, par suite, équivalente à la surface totale de la claie et non plus aux espaces disponibles entre les barreaux.

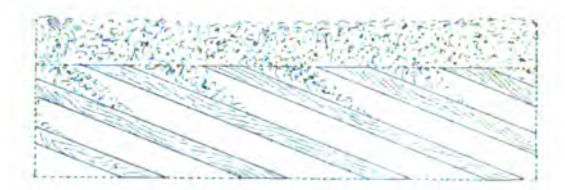


Fig. 69. — Claie à barreaux inclinés.

On peut, dès lors, ramener cette surface de claie à $1^{m^2},50$ ou 2 mètres carrés par 1.000 mètres cubes de gaz. Un autre dispositif consiste à faire arriver le gaz tout au tour de la ma-

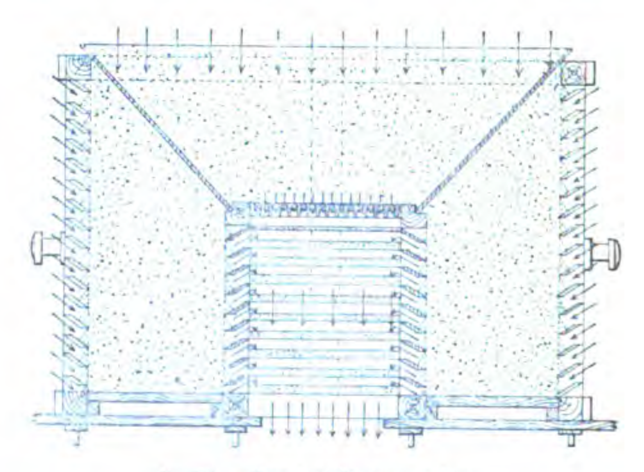


Fig. 70. — Epurateur d'épaisseur reduite.

tière épurante et à le faire sortir par le milieu (*fig.* 70). L'avantage des faibles épaisseurs est de réduire l'absorption de

pression (15 à 30 millimètres) occasionnée par la circulation des gaz à travers la matière.

Les épurateurs sont munis d'un couvercle; la fermeture

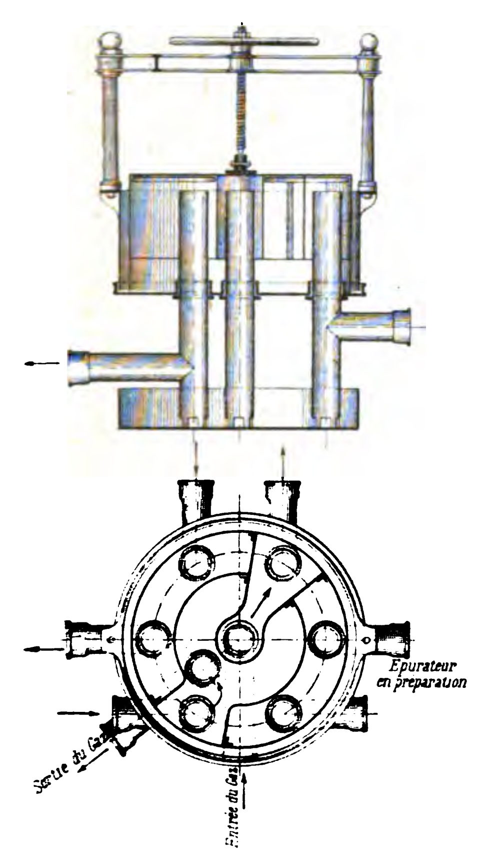


FIG. 71. — Cloche de distribution.

doit en être hermétique pour éviter toute perte de gaz. Le plus souvent, les bords du couvercle plongent dans une gouttière pleine d'eau (300 millimètres) ménagée sur le haut de la

cuve. Il faut maintenir le couvercle par des crochets pour l'empêcher de se soulever. On peut encore adopter une fermeture sèche ; le couvercle est assujetti par des boulons à articulations; il suffit de desserrer les écrous pour faire osciller les boulons et enlever le couvercle; le joint est rendu étanche par une lanière en caoutchouc.

Pour pouvoir remplacer la matière épurante, sans interrompre la circulation du gaz, il est nécessaire d'avoir au moins deux épurateurs, l'un en service, l'autre en préparation, le plus souvent quatre, dont trois parcourus méthodiquement par le gaz, pendant que le quatrième est en chargement. Les quatre cuves sont alors placées aux sommets d'un carré dont le centre est occupé par une cloche de distribution (*fig.* 71), qui permet d'isoler l'un quelconque des épurateurs. On peut encore disposer les cuves sur une ou deux rangées; la distribution du gaz se fait alors au moyen de vannes à deux ou trois voies.

Le couvercle des épurateurs est assez lourd à manœuvrer; quelques-uns atteignent des dimensions considérables, $27^{m} \times 10^{m} \times 1^{m},60$; aussi se sert-on, pour leur manipulation, d'une grue à pivot ou d'un pont roulant suivant le mode de groupement des épurateurs. La matière épurée est retirée par le bas; on la fait tomber directement sur le sol, sur un plancher à claire-voie ou dans des wagonnets qui servent à a transporter dans un hangar spécial à libre circulation d'air. Il faut avoir soin de remuer la matière lorsqu'elle commence à s'échauffer. Quelquefois la revivification a lieu dans l'épurateur même; on injecte alors de l'air humide pour faciliter la réaction. Le nombre des revivifications dépend de la nature de la matière et de son mode d'emploi. On a les moyennes suivantes :

Matières	Revivifications	Milliers de m³ épurés
Laming	11	100
Minerai à 75 0/0 d'oxyde	15	225
Sesquioxyde artificiel	30	300

Suivant que le gaz est plus ou moins bien lavé et refroidi, on renouvelle la matière des épurateurs toutes les trente-six heures ou tous les dix jours. Pour diminuer les change-

ments fréquents, on a imaginé d'injecter 1 à 2 0/0 d'air dans le gaz au moyen d'un jet de vapeur, de manière à avoir l'épuration et la revivification en même temps ; le nombre de revivifications à l'air libre est ainsi réduit de 33 0/0. Au moyen de valves, on règle l'entrée de vapeur et d'air, dont le débit est contrôlé par un manomètre gradué.

La matière épurante est à remplacer quand le gaz ne sort plus suffisamment pur. On la soumet ensuite à divers traitements pour en retirer le soufre et les sels qu'elle renferme, en particulier les cyanures servant au traitement des minerais d'or.

L'enlèvement de l'acide carbonique et de l'hydrogène sulfuré du gaz peut se faire encore au moyen de la chaux éteinte mélangée à de la sciure de bois qu'on dispose, par couches de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur, dans des épurateurs à oxyde ; il faut compter 3 à 4 mètres carrés de surface et 10 à 12 kilogrammes de chaux pour épurer 1.000 mètres cubes de gaz par vingt-quatre heures ; le procédé, assez coûteux ($2^{kg},500$ de chaux par 100 kilogrammes de houille), n'est guère utilisé que dans les petites usines ; il a, de plus, l'inconvénient de laisser passer l'ammoniaque.

On peut également chercher à enlever les autres produits nuisibles, soit en vue d'obtenir des sous-produits, soit pour obtenir un gaz parfaitement pur. On a vu qu'on pouvait retenir complètement le ceanogène en faisant passer le gaz impur dans une solution saline de sulfate de fer en présence d'une base, on obtient du ferrocyanure de la base correspondante.

L'enlèvement total du cyanogène rend le travail des épurateurs à oxyde plus facile ; leur teneur en soufre se trouve augmentée de 50 0/0 ; de plus, on supprime les effets nuisibles de l'acide cyanhydrique sur les parties métalliques des compteurs et des gazomètres.

Si on voulait se débarrasser de la naphtaline, il suffirait de faire passer le gaz dans une solution d'acide picrique additionné d'alcool, ou plus simplement dans des huiles de naphte, d'anthracène ou dans le benzol. Enfin, le peu de sulfure de carbone du gaz peut être enlevé par un sulfure alcalin avec lequel il se combine ; dans ce cas particulier, le

sulfure alcalin est celui de calcium, provenant de l'action de l'hydrogène sulfuré sur la chaux. Ces dernières épurations se produisant en grande partie au cours des épurations précédentes, sont pour ainsi dire inutiles.

73. **Analyse du gaz.** — On a intérêt à connaître la composition du gaz avant et après son épuration, soit qu'on ait en vue de recueillir certains produits spéciaux, soit qu'il s'agisse de mesurer son degré de pureté. L'analyse repose sur les propriétés qu'ont les composés gazeux de se combiner ou d'être dissous par des réactifs spéciaux, ce qui permet de les isoler et, par suite, de les doser.

Acide carbonique. — Ce gaz, en passant dans l'eau de chaux ou de baryte, donne un précipité blanc caractéristique. Si on pèse le résidu après lavage et chauffage au rouge, chaque gramme de carbonate de baryte renferme $0^{gr},220$ d'acide carbonique. Pour avoir la proportion en volume, il suffit de remplir de gaz, sur la cuve à mercure, une éprouvette de volume déterminé et de faire absorber l'acide carbonique par la potasse; la réduction de volume indique la quantité d'acide absorbé.

Oxyde de carbone. — Ce gaz est absorbé par le chlorure de cuivre ammoniacal; le dosage en volume se fait sur la cuve à mercure, comme précédemment. La présence de l'oxyde de carbone est décelée par le chlorure de palladium dont il suffit d'imbiber un papier qu'on plonge ensuite dans le gaz.

Oxygène. — Se dose comme les précédents en le faisant absorber par le pyrogallate de potasse.

Hydrogène sulfuré. — Ce gaz est caractérisé par l'acétate de plomb, qu'il noircit; on se sert d'un papier imprégné de cette liqueur qu'on expose au courant gazeux. Le dosage en volume peut se faire sur la cuve à mercure au moyen du peroxyde de manganèse imbibé d'acide sulfurique. On peut le doser en poids, en faisant passer un volume de gaz déter-

miné dans une dissolution d'acide arsénieux, d'acétate de plomb ou de sulfate de cuivre; le précipité, séché et pesé, donne le poids de sulfure correspondant. Le sulfure d'arsenic à 100° contient par gramme 0,41446 d'hydrogène sulfuré.

Sulfure de carbone. — Au moyen d'une solution alcoolique de potasse, il se forme un sel cristallin. Le gaz desséché est mis en contact avec cette solution; on évapore ensuite l'alcool, puis on ajoute de l'acide acétique, et enfin un peu de sulfate de cuivre; on obtient un précipité jaune.

Ammoniaque. — L'acide sulfurique a la propriété d'absorber ce gaz. On fait donc barboter 50 litres de gaz dans un récipient contenant 40 centimètres cubes d'une solution à demi normale d'acide sulfurique. La liqueur doit rester acide jusqu'à la fin. On sature ensuite l'excédent d'acide avec une base (borate de soude). 1 centimètre cube de cette base correspond à 1 centimètre cube d'acide. Par différence avec les 40 centimètres cubes du début, on aura la quantité d'acide saturé par l'ammoniaque; ce nombre multiplié par 0,0085 donnera le poids d'ammoniaque du gaz.

Hydrocarbures. — La détermination des hydrocarbures est la partie la plus délicate de l'analyse, surtout si on veut séparer les différents groupes. Cette question a cependant perdu beaucoup de son intérêt depuis le développement de l'éclairage par incandescence, où la présence des hydrocarbures est secondaire.

Quoi qu'il en soit, on peut faire absorber tous les carbures éthyléniques par le brome; la réduction de volume indique la quantité de ces gaz. L'isolement du *benzol* peut se faire de plusieurs façons, toutes d'une application assez délicate :

1° En remarquant qu'au delà de 22° la quantité de ce corps est constante et égale à 23,15, il suffira de déterminer tout ce qui se condense jusqu'à 22° et d'y ajouter le chiffre de 23,15 pour avoir le benzol total (Sainte-Claire Deville);

2° Un volume de gaz déterminé passant dans de l'huile de paraffine refroidie, la vapeur de benzine s'y trouve retenue,

l'augmentation du poids de l'huile donne la teneur en benzol ;

3° On transforme le benzol en dinitrobenzol : 10 litres de gaz sont traités par 100 centimètres cubes d'acide nitrosulfurique, soit par barbotage, soit en les agitant ensemble ; après saturation de l'excédent d'acide, le dinitrobenzol est recueilli sur un filtre ; ce qui a pu rester dans le liquide est dissous par l'éther ; après évaporation de ce dernier, le dinitrobenzol sec est pesé et le poids multiplié par 0,466 donne le poids de benzol. On a l'éthylène par différence.

Si on voulait doser la naphtaline, il suffirait de faire passer le gaz sur de l'acide picrique qui se combine avec la naphtaline. On met en contact, par exemple, 423 litres de gaz avec 100 centimètres cubes d'acide ; le picrate obtenu est ensuite lavé, filtré et pesé ; le poids trouvé, multiplié par 0,559, donne la quantité de naphtaline contenue dans le volume à essayer. La naphtaline peut également s'obtenir par condensation. Il faut éviter de la mettre en contact avec le caoutchouc, qui a la propriété de l'absorber.

Hydrogène. — Méthane. — Azote. — Après avoir retiré du gaz tous les corps précédents, on ajoute une certaine quantité d'oxygène, puis, en faisant passer l'étincelle électrique, il se forme de l'eau et de l'acide carbonique.

La réduction de volume donne l'eau formée ; ensuite, avec de la potasse, on absorbe l'acide carbonique ; l'excès d'oxygène le sera également par le pyrogallate de potasse, et il ne restera que l'azote. Il est ensuite facile, d'après ces diverses combinaisons, de déterminer la teneur en carbone et par suite en méthane et enfin en hydrogène.

Densité. — Si, en désignant par d_1 la densité du gaz, d celle de l'air, les temps d'écoulement t, t_1, par un même orifice, sont en raison inverse de la racine carrée des densités ; on a :

$$\frac{t_1}{t} = \sqrt{\frac{d}{d_1}} \quad \text{ou} \quad d_1 = d\,\frac{t^2}{t_1^2};$$

si on fait $d = 1$, on aura la densité du gaz, qui varie de

0,350 à 0,450. Il existe un certain nombre d'appareils basés sur ce principe (éprouvette Schilling, appareil Giroud, appareil Krell).

74. Compteurs de fabrication. — Avant d'envoyer le gaz sous la cloche du gazomètre, on le fait passer au compteur de fabrication. Il est nécessaire non seulement d'enregistrer la quantité du gaz produit dans un intervalle donné, mais comme, d'autre part, on connaît le gaz vendu, par différence on aura les pertes. Le principe de cet appareil est le même que celui des compteurs d'abonnés, dont il diffère par l'addition d'organes enregistreurs qui notent la marche de la fabrication à toutes les heures de la journée. Il suffit de rendre solidaire du volant du compteur un crayon se déplaçant devant une feuille de papier ayant elle-même un mouvement uniforme. Les modèles d'enregistreurs sont du reste assez nombreux.

Les compteurs doivent être munis d'appareils complémentaires pour maintenir constant le niveau de l'eau, de tubes indiquant ce niveau, d'un jeu de valves formant *bypass*, c'est-à-dire permettant la circulation du gaz sans passer par le compteur.

Sur le devant sont disposés des manomètres formés de deux tubes, dont l'un est en communication avec l'entrée, l'autre avec la sortie ; on voit ainsi, par différence, la valeur de la pression absorbée par le compteur. Dans le tuyau d'entrée on introduit un thermomètre pour observer, s'il y a lieu, la température du gaz. Pour corriger le volume enregistré et permettre la comparaison avec le volume vendu, il suffit de savoir que 1 degré d'augmentation de température dilate le gaz de 0,00367 de son volume, ce qui correspond à une erreur de 1 0/0 pour une augmentation de 2°,7 au delà de la température moyenne du sol, qui est d'environ 12° à 1 mètre de profondeur.

D'ailleurs, d'une manière générale, si V est le volume observé à la température t, le volume V′ à la température t' sera :

$$V' = V \frac{1 + 0,00367\, t'}{1 + 0,00367\, t}.$$

Les compteurs d'usines atteignent des dimensions considérables, quelques-uns débitent jusqu'à 50.000 mètres cubes par jour. L'enveloppe extérieure se fait en fonte à plusieurs anneaux juxtaposés ou en un seul anneau à plusieurs segments; on les munit de trous d'hommes pour le nettoyage et l'entretien.

Le volume d'un compteur est facile à déterminer, en se donnant la production maxima Q d'une journée, y compris l'augmentation probable de la consommation, et en s'imposant la condition que la vitesse du volant ne doit pas excéder 100 tours à l'heure. Dès lors, les dimensions du volant, qui est l'organe mesureur, sont faciles à calculer. Le volume utile du volant v est fourni par la relation

$$v = \frac{Q}{24 \times 100}.$$

Ce volume n'est autre que la couronne cylindrique ayant pour hauteur la longueur du volant et pour base la surface comprise entre le contour extérieur du volant et la circonférence correspondant à la ligne d'eau. Le plus souvent la longueur du volant est égale à son diamètre, ce qui donne le minimum de matière et de frottement dans l'eau. La pression absorbée par un compteur ne doit pas excéder 10 à 12 millimètres pour les faibles débits (500 à 2.000 mètres cubes) et 15 à 18 millimètres pour les autres (5.000 à 30.000 mètres cubes).

75. **Gazomètres.** — *Cuve.* — Le gaz étant préparé d'une manière continue doit être emmagasiné, pour les besoins intermittents de la consommation, dans un réservoir spécial ou gazomètre, qui n'est autre qu'une cloche renversée sur une cuve à eau. La cuve, enfouie très souvent dans le sol, se fait en maçonnerie ou en béton et, fréquemment, en tôle d'acier. Le radier, horizontal ou en forme de dôme, de manière à diminuer le volume de l'eau (Intze), est formé par un béton permettant de répartir la charge uniformément sur le sol; on lui donne $0^m,50$ à $0^m,80$ d'épaisseur

correspondant à une pression de 25 à 30 kilogrammes par centimètre carré. Les parois, en maçonnerie ou en métal, doivent résister à la poussée de l'eau, compensée, il est vrai, par celle des terres. Dans le cas de la maçonnerie, l'épaisseur va en diminuant de la base au sommet : au bas, elle est égale au tiers ou à la moitié de la hauteur, pour arriver à un dixième au sommet. Avec l'acier, l'épaisseur des tôles e est égale à :

$$e = \frac{HD\gamma}{2100\varphi s},$$

H, hauteur ; D, diamètre en mètres; γ, poids de 1 centimètre cube du liquide de la cuve ; φ, coefficient égal à 0,65 ou 0,75 suivant qu'on a une rivure simple ou double ; s, effort maximum de résistance de la matière adoptée : fer ou acier. Toute la cuve est revêtue extérieurement d'un enduit étanche pour empêcher les infiltrations.

Cloche. — La cloche est formée par un cylindre en tôle surmonté d'une calotte sphérique. Généralement, la hauteur est le 1/3 ou le 1/5 du diamètre (*fig.* 72). Lorsque cette hauteur devient trop considérable, pour ne pas donner à la cuve une hauteur exagérée, on a imaginé des cloches à plusieurs levées ou télescopiques ; elles sont formées de plusieurs anneaux concentriques s'emboîtant les uns dans les autres. Chaque anneau, à sa partie inférieure, est muni d'un rebord extérieur formant gouttière de 30 à 50 centimètres de profondeur ; le rebord supérieur est retroussé intérieurement de la même quantité. De cette façon, en se développant, les rebords de deux anneaux voisins pénètrent l'un dans l'autre, formant joint étanche. Quand la cloche s'abaisse, les anneaux descendent successivement dans la cuve et il n'y a pas de fuites possibles. Il faut empêcher l'eau qu'on met dans les gouttières de geler. On y arrive au moyen de jets de vapeur.

Le volume utile de la cloche doit être égal à 60 ou 75 0/0 de la consommation maxima en vingt-quatre heures et ne

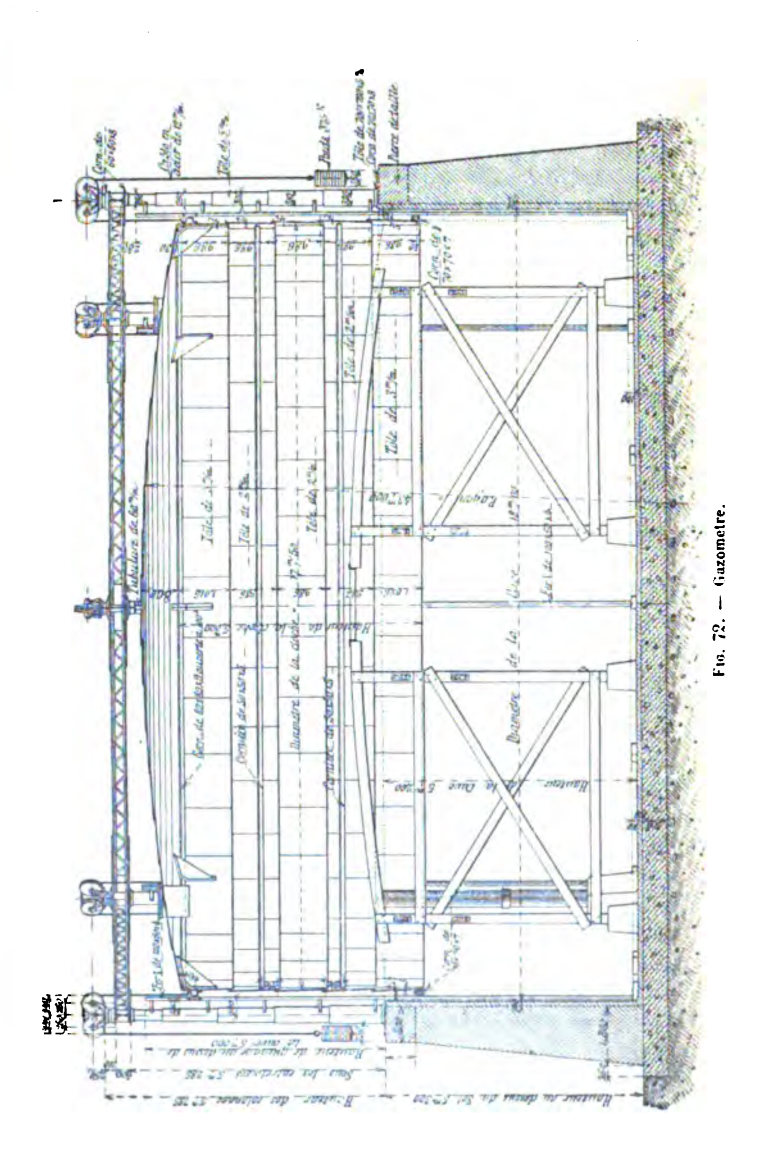


Fig. 72. — Gazometre.

jamais descendre au-dessous de 50 0 0. Pour un gazomètre à trois levées on peut l'avoir d'une façon plus approchée par la formule :

$$Q\left(\frac{t}{24} - 0.25\right) - q =$$

$$\frac{\pi D_1^2}{4} H_1 - \frac{\pi D_2^2}{4} H_2 - p_2 - \frac{\pi D_3^2}{4} H_3 - p_3 - h_4.$$

Q, production moyenne en vingt-quatre heures en mètres cubes; q, consommation pendant le temps t où cette consommation est supérieure à la production; H_1D_1, H_2D_2, H_3D_3, hauteur et diamètre en mètres des levées de la cloche, c'est-à-dire des anneaux mesurés de la surface inférieure de l'anneau à la surface supérieure de la gorge; p_2, p_3, profondeur des gorges, et h_4 [illegible] de 1 mètre environ de l'anneau inférieur dans l'eau de la cuve. Si on a une cloche ordinaire il faut faire D_2, D_3, p_2, $p_3 = 0$.

La cloche et sa calotte sont formées de plaques de tôle de 1 mètre de hauteur, assemblées [illegible] en fer doux posés à froid [illegible] mètres de diamètre [illegible] inférieur et les rebords [illegible] peut être consolidée [illegible] cornière ou à double T [illegible] ferme reposant sur un [illegible] la cloche complètement [illegible] en bois fixée dans la cuve.

Il faut guider la [illegible] A cet effet, tout autour [illegible] ou colonnes reposant sur [illegible] reliés en haut par des [illegible] mensions de ces [illegible] brure de la cloche [illegible] poussée du vent sur [illegible] la pression totale du vent [illegible] à raison de 200 kilogrammes [illegible] charge de neige de [illegible] kilogrammes [illegible] moitié de la cuve.

Les guides proprement [illegible]

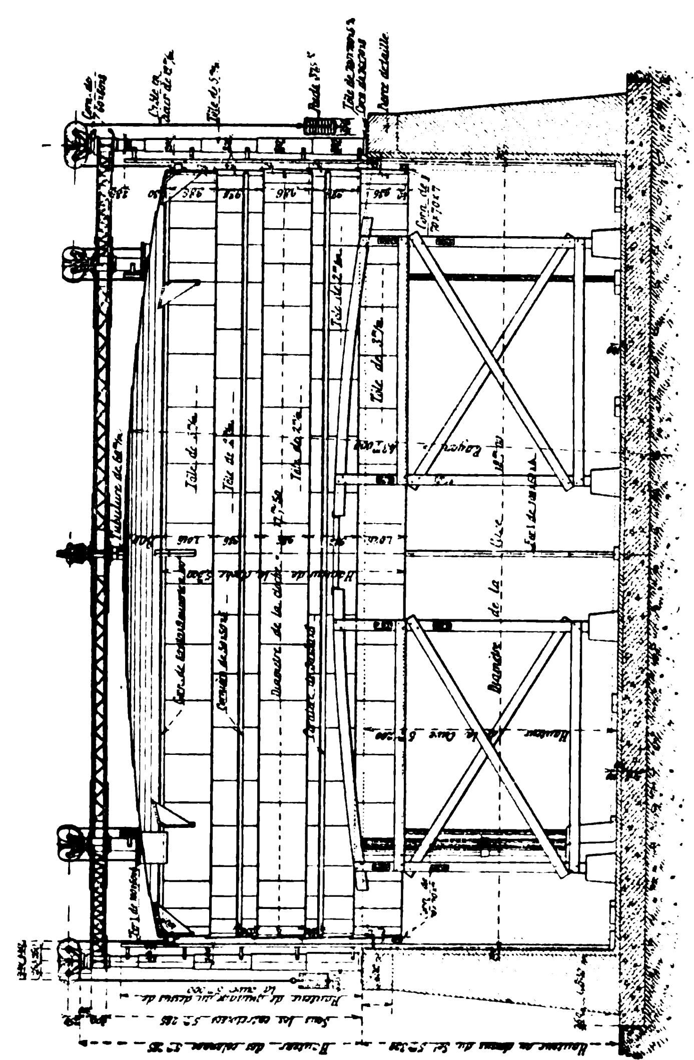


Fig. 72. — Gazomètre.

jamais descendre au-dessous de 50 0/0. Pour un gazomètre à trois levées on peut l'avoir d'une façon plus approchée par la formule :

$$Q\left(\frac{t}{24} - 0{,}25\right) - q =$$

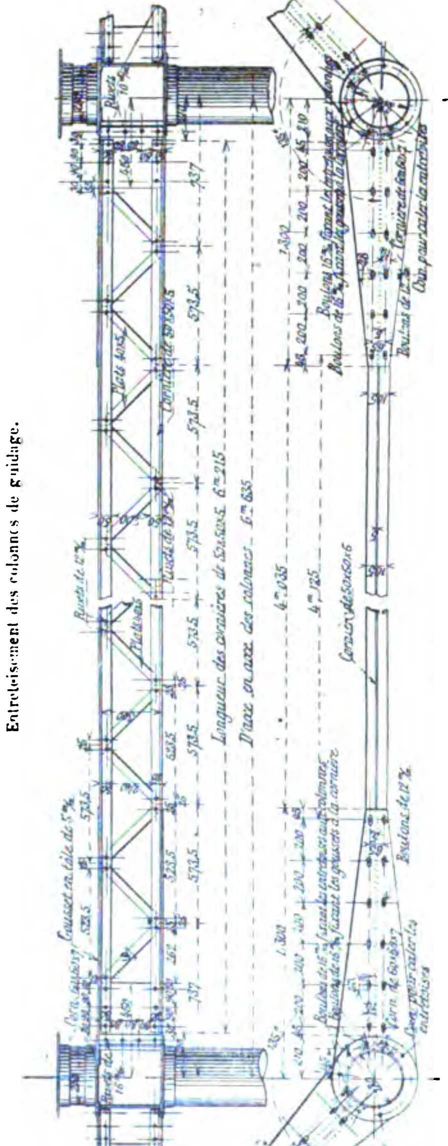
$$\frac{\pi D_1^2}{4} H_1 + \frac{\pi D_2^2}{4} (H_2 - p_2) + \frac{\pi D_3^2}{4} (H_3 - p_3 - h_0).$$

Q, production moyenne, en vingt-quatre heures, en mètres cubes; q, consommation pendant le temps t où cette consommation est supérieure à la production; H_1D_1, H_2D_2, H_3D_3, hauteur et diamètre en mètres des levées de la cloche, c'est-à-dire des anneaux mesurés de la surface inférieure de l'anneau à la surface supérieure de la gorge; p_2p_3, profondeur des gorges, et h_0, profondeur de 1 mètre environ de l'anneau inférieur dans l'eau de la cuve. Si on a une cloche ordinaire il faut faire D_1, D_2, p_2, $p_3 = o$.

La cloche et sa calotte sont formées de plaques de tôle de 1 mètre de hauteur, assemblées entre elles au moyen de rivets en fer doux posés à froid, sauf lorsqu'ils ont plus de 10 millimètres de diamètre, auquel cas on les rive à chaud. L'anneau inférieur et les rebords des gorges sont renforcés. La calotte peut être consolidée au moyen d'une membrure en fer cornière ou à double T formant comme les chevrons d'une ferme reposant sur un cercle à l'extrémité. Lorsqu'on descend la cloche complètement, on la fait reposer sur une charpente en bois fixée dans la cuve.

Il faut guider la cloche dans son mouvement ascensionnel. A cet effet, tout autour de la margelle, on dispose des supports ou colonnes reposant sur des dés en pierre ou en fonte et reliés en haut par des entretoises (*fig.* 73 et 74). Les dimensions de ces colonnes, l'épaisseur des tôles et la membrure de la cloche doivent être calculées pour résister à la poussée du vent sur le cylindre, poussée évaluée à 0,57 de la pression totale du vent sur la section verticale du cylindre à raison de 200 kilogrammes par mètre carré, plus à une charge de neige de 40 kilogrammes par mètre carré sur la moitié de la calotte.

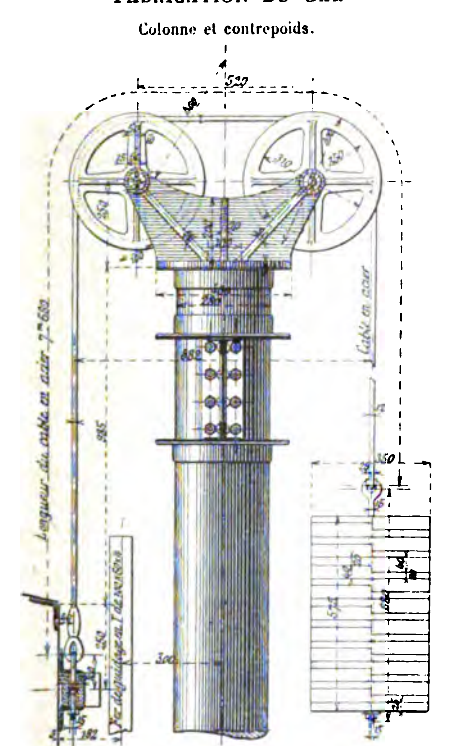
Les guides proprement dits sont installés aux flancs de la



Entretoisement des colonnes de guidage.

FIG. 73. — Détails d'un gazomètre.

Colonne et contrepoids.



Poulie de guidage.

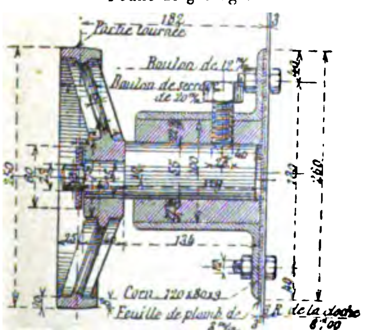


Fig. 74. — Détails d'un gazomètre.

cuve et se prolongent le long des colonnes en forme de double T de 0m,20 à 0m,25 de large, sur les ailes duquel viennent rouler des galets fixés deux par deux tangentiellement à la circonférence de la cloche, de manière à ne pas la déformer. On emploie également des galets normaux aux guidages.

Le tableau suivant donne les différentes dimensions des gazomètres employés :

CAPACITÉ DU GAZOMÈTRE	400-700	800-1200	1400-4000	4500-10000	12000-25000	27000-30000
Cloche :						
Diamètre en m.	11-13	13,5-15	15,6-21	21,7-25,9	26,6-30,8	31,5-35,5
Poids de la tôle par m^2 en kg.	16	16	17	17	18	18
Calotte :						
Rayon en m....	20-25	25-30	30-40	45-50	50-60	60-70
Poids des tôles.	16	16-17	17-18	18-20	20	20-22
Nombre de colonnes.......	8	8	8	10	12	14
Diamètre du tuyau de sortie en mm...	150-200	201-225	250-300	400-550	600-750	800-1000

N.-B. — A partir de 1.400 mètres cubes, les cloches se font à trois levées.

Le poids de la cloche fait équilibre à la pression du gaz s'exerçant de bas en haut; si S est la section horizontale, P le poids de la cloche, et h la pression du gaz, on a $Sh = P$, h sera d'autant plus forte que P est grand et S faible; on peut modifier la pression au moyen de contrepoids agissant verticalement le long des guidages par l'intermédiaire de câbles et poulies de renvoi (*fig.* 74).

Sur la paroi de la cloche se trouve une échelle graduée indiquant le volume du gaz emmagasiné.

Conduits. — Les conduits d'arrivée et de départ du gaz pénètrent côte à côte au fond de la cuve et débouchent au-

dessus de l'eau. Comme il se forme un point bas, il faut avoir soin d y installer un siphon pour chaque conduite (*fig.* 75). D'autres fois, on emploie des conduites aériennes qu'il faut

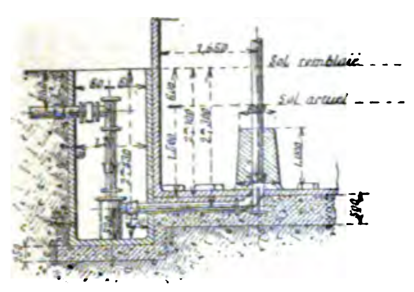


FIG. 75. — Sortie du gaz.

articuler pour leur permettre de suivre les déplacements de la cloche; les joints, ou *stuffing box*, doivent être étanches, ce qui constitue le point faible de ce système à cause des fuites possibles aux articulations.

Mise au gaz. — Lorsqu'un gazomètre est neuf ou vient d'être réparé. il renferme une certaine quantité d'air qu'il faut enlever pour éviter tout mélange explosif. Il suffit de faire, loin du tuyau d'arrivée, une ouverture de quelques centimètres par où on introduit un tuyau en plomb, qui vient déboucher un peu au-dessus du plan d'eau (*fig.* 76). Le gaz, plus léger que l'air, en pénétrant dans le gazomètre, le chasse par la tubulure en plomb. On recueille, dans une vessie munie d'un robinet, le gaz qui s'échappe, et on voit à quel moment il s'enflamme. On peut alors enlever le tuyau et fermer l'orifice par une plaque pleine; le gaz est suffisamment pur.

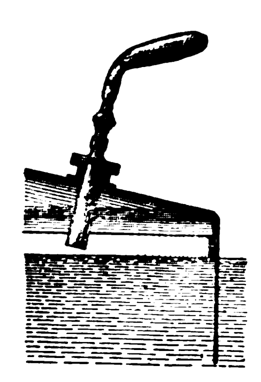


FIG. 76. — Mise au gaz d'un gazomètre.

Un gazomètre ne doit jamais être rempli complètement; la cloche doit plonger de 1 mètre environ pour lui permettre de suivre les variations de température et les poussées de vent. Il faut avoir soin d'établir une vidange sinon continue, au moins intermittente, des eaux de la cuve. Il arrive, en effet, que des composés sulfurés échappés à l'épuration se dissolvent dans cette eau et celle qui imprègne les parois de la cloche; il en résulte qu'à certaines variations de température, de l'hydrogène sulfuré se dégage et se mêle au gaz. On supprime cet inconvénient en injectant du sulfate de fer sous la calotte et en versant de ce sel dans l'eau de la cuve. Il faut surtout éviter de se servir de la cuve comme récipient de goudron.

§ 3. — Sous-produits

76. **Coke.** — Le produit qui reste dans la cornue après la distillation est le coke. Jeté brusquement sur le carreau de l'usine, dans des wagonnets ou sur un transporteur, il est éteint le plus vite possible avec de l'eau. Cette aspersion favorise le départ d'une partie du soufre qu'il contient encore à l'état de sulfure de fer.

C'est un combustible très utile, au point d'être fabriqué tout spécialement pour la métallurgie. D'une couleur gris fer plus ou moins foncé, sa texture est spongieuse et boursouflée, au point d'absorber jusqu'à 50 0/0 de son poids d'eau, ce qui explique qu'on le vende au volume; 1 mètre cube pèse 400 kilogrammes. Il brûle avec une petite flamme bleue presque sans fumée ni odeur. La puissance calorifique du coke s'obtient par la formule :

$$P = (1 - a - b) 8080,$$

dans laquelle a est la teneur en cendres, b celle en eau exprimée en centièmes. Un coke renferme ordinairement 81 à 89 0/0 de carbone, 6 à 12 0/0 de cendres, 2 à 3 0/0 d'eau. P varie entre 6.500 et 6.700 calories. La quantité de cendres

et, par suite, la qualité du coke, dépend de la nature de la houille qui lui a donné naissance.

Avant d'être livré au commerce, le coke est cassé en morceaux qu'on classe d'après leur grosseur; il faut éviter surtout de faire du poussier. L'opération se fait au moyen de casse-coke mus mécaniquement ou à main. Le poussier sert à la fabrication des briques, à la cuisson des ciments, à la confection des agglomérés ou briquettes; on peut l'utiliser directement dans certains fours spéciaux (four Michel Perret). Le coke est employé au chauffage domestique dans des foyers ouverts ou des poêles mobiles; dans l'industrie, on l'utilise au chauffage des appareils sans fumée et dans les gazogènes.

77. Goudrons. — *Applications directes.* — Les produits condensés recueillis dans le barillet et autres appareils sont vidés dans des citernes où ils se superposent par ordre de densité. La partie liquide du haut est composée presque totalement d'eau ammoniacale; celle du bas, noire et visqueuse, d'odeur forte, constitue le goudron.

C'est un composé très complexe d'hydrocarbures, dont la composition ne dépend que de la houille et de la température de distillation, comme on l'a vu.

Le tableau suivant, d'après Irwend, donne les proportions de carbures fournies par 100 kilogrammes de houille.

CARBURES	DANS LE GAZ	DANS LE GOUDRON	POINT D'ÉBULLITION	TENSION DE LA VAPEUR À 15°
Benzine	0,8123	0,0362	80°	61
Toluène	0,2721	0,0317	111	19,40
Xylène	0,0181	0,0453	137-142	6,30
Cumène	0,0045	0,0136	163-169	1,50
Naphtaline	0,0068	0,5895	218	0,03
Pyridine à 90 0/0	»	0,0136	120-140	»
Phénol	»	0,0453	184	»
Phénanthrène	»	0,0453	340	»
Anthracène	»	0,0136	360	»
Huiles lourdes	»	1,0295	200 à 400	»
Brai	»	4,2183	»	»
TOTAL	1,1138	6,0819		

Il est éminemment combustible, et 10 kilogrammes de goudron équivalent, en poids, à 12 kilogrammes de charbon. On l'applique au chauffage des fours; il sert également à l'enrichissement du gaz ordinaire et à la fabrication du gaz riche. Sa densité est de 1,1 en moyenne.

Le goudron s'utilise directement pour préserver les bois, les métaux, la maçonnerie de l'humidité. On s'en sert dans la fabrication de certains matériaux de couverture : carton-pâte, carton-bitume, carton-pierre, qui ne sont autres que du papier sec trempé dans ce produit déshydraté. C'est un antiseptique excellent pour arrêter la pourriture des arbres. On s'en sert également dans les serres pour en couvrir les parois, sa couleur noire lui permettant d'absorber la chaleur.

Dérivés. — La majeure partie du goudron est traitée dans des usines spéciales en vue d'en retirer les nombreux produits qu'il renferme et qui ont beaucoup d'analogie avec ceux des huiles minérales. Il faut, tout d'abord, le déshydrater complètement. On y arrive en partie en le malaxant dans une turbine à force centrifuge ; mais la déshydratation se complète par l'action de la chaleur à 90°. Les premiers produits volatils sont recueillis dans un serpentin ; le goudron, rendu liquide, monte à la surface; il n'y a qu'à soutirer l'eau accumulée à la partie inférieure.

Le goudron déshydraté est alors soumis à la distillation dans de grandes chaudières de 25 à 30 mètres cubes chauffées à feu nu. Chaque chaudière est munie d'un robinet de vidange opposé au foyer, d'un tuyau de chargement, d'un trou d'homme pour le nettoyage et d'un chapiteau communiquant avec l'appareil de condensation. On obtient quatre fractionnements :

1° 3 à 5 0/0 d'*huiles légères* d'un poids spécifique allant jusqu'à 0,940 et ne dépassant pas 170° comme point d'ébullition. Leur mélange constitue un liquide très fluide, que l'on soumet à un second fractionnement dans un alambic. Tout ce qui distille avant 170° est soumis à un lavage à l'acide sulfurique qui s'empare des composés ammoniacaux et éthyléniques; l'huile lavée est traitée par la

soude, qui dissout les phénols et sature les acides. L'huile est encore relavée et soumise à une nouvelle distillation dans un alambic chauffé à la vapeur. On ne recueille que les produits passant entre 80 et 150° ; ce sont les benzols formés de benzine, toluène et xylène, qu'on peut obtenir séparément par distillation fractionnée ou utiliser directement. On classe les benzols d'après leur teneur en produits volatils au-dessus de 100°. C'est ainsi que du benzol à 90 contient 90 0/0 de produits distillant au-dessus de 100°. Les applications de ces huiles légères sont les mêmes que celles des essences de l'huile minérale : les benzols servent plus spécialement à la fabrication des couleurs d'aniline : rouge benzol à 30 0/0, bleu à 90 0/0 ;

2° 8 à 10 0/0 d'*huiles moyennes* dont le poids spécifique va jusqu'à 0,980 et le point d'ébullition 180° ; on les soumet aux mêmes lavages que les précédentes ; mais, comme elles sont très riches en phénols, le traitement à la soude se fait à chaud ; on en retire de l'acide phénique, de l'huile purifiée qui sert à l'éclairage, et le résidu est ajouté aux huiles lourdes ;

3° 8 à 10 0/0 d'*huiles lourdes*, bouillant entre 200 et 270° et d'une densité de 1,04. On les soumet également au traitement de l'acide sulfurique, de la soude et de l'eau, puis à la distillation fractionnée. Tout ce qui passe avant 200° est réuni aux huiles moyennes; de 200 à 260°, on recueille des huiles à naphtaline, puis des huiles à créosote, très recherchées pour l'injection des bois ou pour la fabrication des huiles de graissage ;

4° 19 à 20 0/0 d'*huile d'anthracène*, dont le poids spécifique atteint 1,08 et qui comprend tout ce qui distille au-dessus de 270°. Cette huile, de couleur verdâtre, filtrée ou pressée à chaud, laisse déposer l'anthracène qu'on purifie à chaud à l'aide d'essences légères; on obtient une substance blanche, fluorescente, servant de point de départ à la fabrication des couleurs d'alizarine ou garance artificielle;

5° Le résidu de la distillation est du brai plus ou moins fluide suivant qu'on atteint 300 ou 360°. Le brai gras (300°) sert à la fabrication des agglomérés ou briquettes, qu'on obtient en le mélangeant à du poussier; on peut le sou-

mettre à la distillation au rouge sombre et en retirer des huiles anthracéniques ; le résidu est un coke léger. Le brai sec (360°), moins fusible que le précédent, sert également à la fabrication des agglomérés et de l'asphalte artificiel.

78. **Eau ammoniacale.** — L'eau ammoniacale est traitée dans les usines de produits chimiques, en vue d'obtenir de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux, en particulier du sulfate d'ammoniaque, très recherchés en agriculture, à cause de l'azote qu'ils renferment. Cette eau est traitée dans des chaudières où elle est mélangée à de la chaux qui, sous l'action de la chaleur, la décompose en donnant l'ammoniaque ; ce produit, après lavage et condensation de la vapeur d'eau, est envoyé dans des récipients remplis d'acide chlorhydrique ou sulfurique suivant qu'on veut obtenir du chlorhydrate d'ammoniaque ou du sulfate d'ammoniaque. On retire environ 50 kilogrammes de sulfate par mètre cube d'eau à 2 ou 3° B.

Souvent l'on se contente de concentrer les eaux mères jusqu'à 15° B., dans le but de s'en servir pour la fabrication de la soude. Tous ces dérivés, ammoniaque ou alcali volatil, sels ammoniacaux, sont d'un emploi courant. Le sulfate d'ammoniaque, utilisé pour la fabrication des aluns, sert plus spécialement d'engrais. Il convient principalement aux céréales et aux plantes oléagineuses. Pour ces dernières, il faut 100 à 200 kilogrammes de sulfate par hectare.

L'eau ammoniacale clôture la série des produits de la distillation de la houille, qui présentent entre eux les plus grands contrastes. On s'est ingénié à leur trouver des débouchés, et, grâce à ces efforts continus, l'industrie du gaz est une des plus prospères.

CHAPITRE VI

DISTRIBUTION DU GAZ

79. Écoulement du gaz. — Le gaz est amené aux différents points où il doit être consommé au moyen de conduites dont le diamètre va sans cesse en diminuant à partir de l'origine. On les fait communiquer entre elles, toutes les fois qu'il est possible, de telle sorte qu'une canalisation, dans son ensemble, a l'apparence d'un grillage à mailles irrégulières composé de fils de diamètres différents.



Fig. 77. — Manomètre.

La circulation du gaz dans ces conduites est soumise aux lois de l'écoulement des fluides, qui comportent trois facteurs : la *pression*, le *débit*, la *résistance*, reliés entre eux par certaines relations.

La *pression* n'est autre que la force, rapportée à l'unité de surface, qui produit l'écoulement. Dans le cas du gaz, cette force est constituée par le poids de la cloche du gazomètre qui comprime le gaz et le force à s'échapper. La pression s'évalue en millimètres d'eau et se mesure au moyen de *manomètres*. Ces derniers sont formés simplement par un tube en **U** contenant de l'eau (*fig.* 77) ; dans une des branches, le gaz amené par un tuyau exerce sa pression ; l'autre s'ouvre directement dans l'atmosphère. La différence de niveau du liquide dans les tubes indique la pression exprimée en millimètres. Une échelle graduée permet de faire cette lecture

rapidement. Pour augmenter le déplacement du liquide, lorsqu'il s'agit de pression très faible, une des branches, au lieu d'être verticale, est inclinée. Enfin on peut recourir à un flotteur disposé sur le niveau de l'eau et entraînant dans son mouvement l'aiguille d'un cadran gradué en conséquence. Cet appareil est moins sensible que les précédents.

La quantité de gaz, qui passe à travers la section d'une conduite dans l'unité de temps, mesure le *débit* Q. Si ω est la section, v la vitesse, on a :

$$Q = \omega v.$$

D'autre part, v est fonction de la pression h du gaz, car on a :

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Pour que la valeur de v et, par suite, celle de h ne soient pas exagérées, il faut donner à la section ω une valeur suffisante.

L'écoulement du gaz à travers la conduite ne se fait pas sans difficulté : selon la nature des parois, les remous aux coudes brusques, les pentes à franchir, la veine fluide circule plus ou moins facilement. L'ensemble de tous ces obstacles constitue la *résistance;* elle est proportionnelle à la longueur L du tuyau, à son périmètre, inversement proportionnelle à sa section ; elle dépend, en outre, de sa nature et de la densité du gaz. C'est en vertu de la résistance que la pression, pendant l'écoulement, n'est pas la même à l'arrivée qu'au départ; cette diminution de pression se nomme la *perte de charge*.

80. **Régulateurs d'émission.** — A la sortie de l'usine, on ne laisse pas prendre à la pression une valeur quelconque ; elle serait trop irrégulière. On la règle au moyen d'un appareil spécial, ou *régulateur d'émission*, que l'on installe au commencement des conduits de distribution. Il consiste essentiellement en un obturateur qui, en réduisant plus ou moins

la section de sortie du gaz, rend la pression indépendante du nombre des appareils en service. Le mouvement de cet obturateur est confié à un organe qui suit exactement les oscillations de la pression.

Le régulateur ordinaire se compose d'une cloche cylindrique à flotteur en équilibre dans une cuve remplie d'eau et supportant, à l'aide d'une tige centrale, l'obturateur allongé, en forme de cône, qui vient s'engager dans un tuyau amenant le gaz du gazomètre. Lorsqu'il y a équilibre, la cloche est soumise, de haut en bas, à l'action de son poids et, de bas en haut, à la pression h du gaz ; si S est sa section, on aura :

$$h = \frac{P}{S};$$

h est constant tant que P et S sont constants. On peut faire varier P en ajoutant des poids fixes ou une quantité d'eau variable en rapport avec la consommation du gaz ; cette eau est versée dans un réservoir placé sur la cloche et qu'on peut vider ensuite aisément.

La qualité importante d'un régulateur est sa sensibilité ; elle est d'autant plus considérable que la course de l'obturateur est longue et que la cloche obéit aux moindres variations de la pression. Le premier résultat est obtenu en donnant à l'obturateur une forme parabolique ; le second, en augmentant le diamètre de la cloche.

L'appareil précédent présente un inconvénient : la section S recevant l'action de la pression n'est pas constante, il faut tenir compte de l'obturateur, qui est soumis à la pression de l'usine variant à chaque instant ; il en résulte pour la cloche un mouvement oscillatoire qui se transmet à la veine fluide. On y remédie en compensant la pression sur le cône par une autre égale sur la cloche au moyen d'un tube en communication avec le gaz à l'arrivée (*fig.* 78). Le reste de la cloche est soumis à la pression du gaz de la conduite générale ; on peut, au lieu de cette disposition, employer un double cône, de manière qu'il y ait compensation : l'un se trouve sur la conduite de sortie,

l'autre sur celle d'arrivée. Ce système est moins répandu que le précédent, surtout pour les faibles débits.

Les régulateurs d'émission se groupent dans des salles spéciales ; leur installation se complète d'une série d'appareils enregistreurs dont le principe est très simple : il suffit de déplacer, le long d'un cylindre vertical, tournant

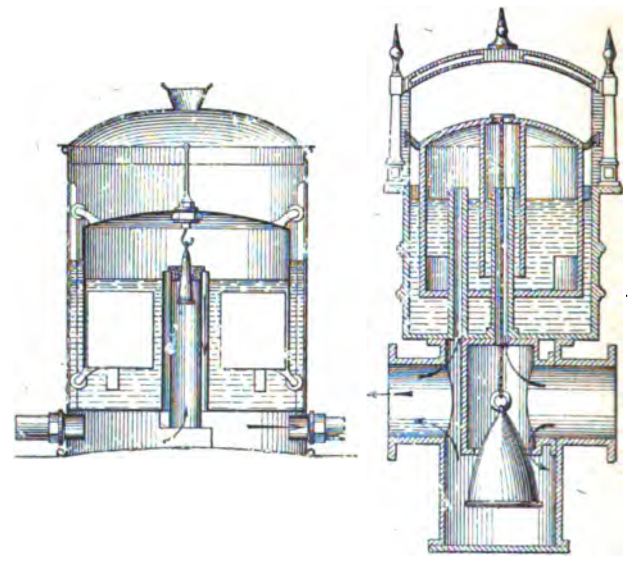


Fig. 78. — Régulateurs de pression.

avec une vitesse uniforme de un tour en vingt-quatre heures, un crayon qui suivra la cloche du régulateur dans ses mouvements. La courbe ainsi tracée indiquera les fluctuations de la pression.

L'emploi des régulateurs n'est pas limité aux points origines. Il peut être utile, à l'entrée de certains locaux par exemple, de changer la pression, tout en la maintenant constante. Le premier système de régulateur, c'est-à-dire non compensé, est suffisant.

Un régulateur ne se trouve pas forcément installé à l'en-

droit même où la pression doit être constante; la régulation peut se faire à distance; il suffit en effet d'amener le gaz de ce point sous la cloche au moyen d'une conduite spéciale; ou bien encore, si la distance est trop grande, d'y mettre un flotteur dont les mouvements se transmettront électriquement à ceux du flotteur du régulateur. Ces deux moyens sont du reste usités.

81. Calcul des conduites. — *Diamètre.* — *a*) La formule fondamentale qui permet de déterminer le diamètre D d'une conduite de longueur L devant débiter, dans l'unité de temps, avec une perte de charge E, un volume Q de fluide de densité *d*, est la suivante :

$$D^5 = \frac{0,33dKLQ^2}{E};$$

d est la densité du gaz par rapport à l'eau : c'est-à-dire qu'on a en moyenne :

$$0,400 \times 0,0013 = 0,00052;$$

K, un coefficient variable avec la nature des parois, mais qu'on prend égal à 0,006.

Toutes ces quantités sont exprimées en unités décimales, et Q est le débit par seconde.

Faisons le calcul pour une valeur Q = 100 litres à la seconde, soit 360 mètres cubes à l'heure, E = $0^m,02$, et prenons pour L des valeurs successives :

L = 10 mètres, L = 100 mètres, L = 1.000 mètres.

Dans ces conditions on trouve pour D, en remplaçant les lettres par leur valeur :

D = 0,087, D = 0,139, D = 0,219.

La formule précédente peut se rapprocher de la suivante, très usitée, mais donnant un diamètre un peu plus fort :

$$D^3 = \frac{0,67Q^2L}{E},$$

dans laquelle, Q est exprimée en mètres cubes à l'heure, E en millimètres d'eau, et L en mètres; D est alors obtenu en centimètres.

b) Lorsqu'il s'agit de conduites se subdivisant en plusieurs autres, le problème n'est pas plus compliqué, à la condition de partager la perte de charge d'une manière rationnelle sur tout le parcours. Soit, par exemple (*fig.* 79), une conduite de longueur L se subdivisant en deux autres, de longueur L_1 et L_2, et débitant chacune des volumes Q_1, Q_2 de gaz. On connaît la perte de charge E_1 de A en C, qui est, par hypothèse, la ligne la plus longue; pour l'avoir en B, nous supposerons que les pertes sont proportionnelles aux longueurs; on aura :

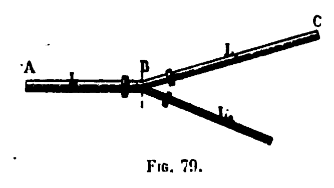


Fig. 79.

$$\frac{E_1}{L + L_1} = \frac{x}{L};$$

d'où :

$$x = \frac{E_1}{1 + \frac{L_1}{L}}.$$

Dès lors le calcul est très facile, on a pour valeur des diamètres des conduites :

$$D^3 = \frac{0,67L(Q_1 + Q_2)^2}{x}, \quad D_1{}^3 = \frac{0,67L_1Q_1{}^2}{E_1 - x}, \quad D_2{}^3 = \frac{0,67L_2Q_2{}^2}{E_2 - x}.$$

c) M. D. Monnier, pour calculer le diamètre d'une conduite, a tenu compte de son débit sur toute sa longueur. La formule est alors :

$$D^5 = \frac{0{,}84Q^2L}{E} \times M.$$

Q, volume en mètres cubes débité dans une heure par la conduite principale; L, longueur en mètres, D en centimètres et E en millimètres d'eau. La valeur du coefficient M est égale à :

$$M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6 \times n}\right) \frac{q^2}{Q^2};$$

q est le débit en mètres cubes par heure le long de la conduite; *n*, le nombre de branchements; en pratique, on le fait égal à 10. Pour $q = o$, c'est-à-dire la conduite ne comportant aucun branchement sur tout son parcours, $M = 1$, la valeur de D^5 est alors légèrement supérieure à celle des formules précédentes. A mesure que *q* augmente, M et par suite D diminuent d'une façon très sensible et tendent vers un minimum qui a lieu pour $q = Q$ et pour *n* infini ; M est alors égal à 1/3.

d) Les diverses formules précédentes nécessitent le calcul complet de la valeur D^5. On peut se servir des tables de M. Arson, établies d'après une formule binôme, donnant pour un diamètre déterminé, la perte de charge E par 1.000 mètres de longueur correspondant à une vitesse *v*. L'équation générale donne :

$$E = \frac{4Ld}{D}(av + bv^2);$$

d est la densité du gaz par rapport à l'eau; *a* et *b*, deux coefficients dépendant de la nature et du diamètre du tuyau.

Les tables de M. Arson, assez longues à consulter, ont été résumées dans le tableau suivant pour des conduites en fonte à emboîtement et pour le gaz de houille.

DIAMÈTRES des CONDUITES	PERTE DE CHARGE OU DE PRESSION PAR 1.000 MÈTRES DE CONDUITE EXPRIMÉE EN MILLIMÈTRES									
	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40
	VOLUMES DE GAZ ÉCOULÉS PAR HEURE, EN MÈTRES CUBES									
0,054	»	»	»	»	3,04	»	»	5,6	»	7,3
0,081	3,4	»	7,5	»	12 »	15	17	»	21,3	25 »
0,108	8 »	15	18 »	21	28 »	34	39	44 »	47 »	54 »
0,135	16 »	23	34 »	40	54 »	64	73	83 »	90 »	100 »
0,162	29 »	43	61 »	72	97 »	109	124	139 »	153 »	167 »
0,189	50 »	70	99 »	112	146 »	168	197	220 »	239 »	260 »
0,216	77 »	109	149 »	170	219 »	259	296	326 »	356 »	386 »
0,250	126 »	178	334 »	270	334 »	397	453	503 »	542 »	586 »
0,300	234 »	307	408 »	465	580 »	680	762	845 »	915 »	982 »
0,400	596 »	790	1.000 »	1.140	1.390 »	1.603	1.800	1.970 »	2.120 »	2.300 »

NOTA. — Pour les autres distances, les pertes de charge étant proportionnelles aux longueurs, on les obtient facilement par une simple règle de trois.

Vitesse. — Connaissant le diamètre d'une conduite, il convient de s'assurer que la vitesse v du gaz n'est pas exagérée. On peut même procéder inversement, pour des valeurs données de Q, calculer le diamètre en partant de la vitesse; on a :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

Dans l'exemple donné précédemment pour le calcul du diamètre d'une conduite dans lequel on avait :

$E = 0{,}03$, $Q = 360$ mètres cubes à l'heure, $D = 0{,}219$,

on trouve :

$$v = 2^{m},70.$$

Généralement, pour $Q > 1.000$ mètres cubes à l'heure, v varie de 2 à 3 mètres à la seconde; et pour $Q < 1.000$ mètres à l'heure, v est pris égal à $0{,}3\ (1 + 0{,}01Q)$.

Dans ces conditions, c'est-à-dire avec une vitesse de $2^{m},50$

environ et une section de 1 centimètre carré par 1.000 litres de gaz, on obtient des pertes de charge insignifiantes.

La valeur de la pression est assez variable : à Paris, le soir, elle oscille entre 140 et 150 millimètres au régulateur d'émission pour finir aux brûleurs à 65 ou 70 millimètres ; le jour, elle n'est plus que de 50 à 55. Dans l'évaluation des pertes de charge, il faut tenir compte de l'altitude de l'usine. Le gaz étant plus léger que l'air, pour tous les points plus élevés que l'usine, toute surélévation de 1 mètre de niveau équivaut à une augmentation de $0^{mm},8$ de pression ; pour les points à un niveau inférieur, c'est l'inverse qui a lieu.

82. Conduites principales. — *Tuyaux.* — Les conduites à gaz se font en fonte ou en tôle. Les tuyaux en fonte mesurent généralement $2^{m},50$ à 3 mètres de longueur ; les diamètres les plus employés vont de $0^{m},04$ à $0^{m},60$; le poids varie alors de 12 à 15 kilogrammes par mètre courant. La fonte doit être homogène, ni trop blanche, ni trop dure, pour éviter les cassures au moindre choc. Avant leur emploi, les tuyaux doivent être essayés sous l'eau à la pompe à air, pour éprouver leur étanchéité.

L'assemblage peut se faire par emboitement. Chaque tuyau



Fig. 80. — Tuyau en fonte.

(*fig.* 80) porte à une extrémité une partie plus large ou emboitement dans lequel on introduit l'extrémité du tuyau adjacent. L'espace resté libre entre les deux est rempli de corde suiffée qu'on refoule dans le fond. A l'entrée du joint, on fait ensuite un bourrelet de glaise, à la partie supérieure duquel on ménage un trou par où on fait couler du plomb fondu. Comme le plomb, en se refroidissant, se contracte, il faut le mater jusqu'à refus, de manière à rendre le joint parfaitement étanche.

L'assemblage par emboitement a, comme inconvénient,

d'être trop rigide et, par suite, de casser facilement; il en résulte que les joints sont peu étanches, particulièrement dans les terrains instables. Il est, en outre, très difficile de démonter la canalisation sans casser les tuyaux.

Les joints à brides sont préférables à ce point de vue; parmi eux, il convient de citer les joints Lavril, Petit et

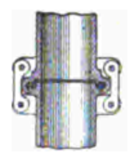


Fig. 81. — Joint Petit.

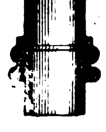


Fig. 82. — Joint Lavril.

Somzée. Dans le système *Lavril* (*fig.* 82), la partie mâle du tuyau est pourvue d'une gorge destinée à recevoir une bague en caoutchouc. La partie femelle porte des oreilles fixes, et le bout mâle, une bride mobile qui peut glisser le long du tuyau. C'est cette bride mobile qui vient serrer, au moyen de colliers avec pattes, la rondelle en caoutchouc contre le fond de l'emboîtement, rendant ainsi le joint étanche. Cette disposition donne une certaine élasticité à la canalisation, ce qui facilite le passage en courbe. Le caoutchouc paraît d'ailleurs bien se comporter, malgré son contact avec la fonte et les vapeurs d'hydrocarbures. Dans l'emboîtement *Petit*, la bride de la partie mâle est fixe; il y a des colliers également pour serrer le joint (*fig.* 81).

Dans le joint *Somzée*, le bout mâle est conique et porte à son extrémité deux bourrelets, entre lesquels, on place un anneau en caoutchouc. L'extrémité antérieure de l'emboîtement est taillée en biseau, et derrière cette partie se trouve un cercle plat. Lorsque l'on monte les tuyaux, le caoutchouc se roule autour du bout mâle et finit par remplir complètement le vide de l'emboîtement.

On emploie également avec succès les tuyaux du système *Chameroy;* ils sont constitués par de la tôle plombée (*fig.* 83) sur les deux faces, rivée et soudée suivant une génératrice. La surface extérieure est recouverte d'un revêtement en

bitume très adhérent au métal; intérieurement, la paroi est enduite d'une couche de goudron. L'épaisseur de ces tuyaux varie de 1 à 5 millimètres suivant l'importance du diamètre, qui va de 0m,035 à 1 mètre; chaque tuyau mesure 4 mètres de long. Enfin les extrémités sont garnies de bagues parfaitement cylindriques réglées pour s'emboîter à joint précis; elles sont formées par un alliage de plomb et d'antimoine. L'assemblage se fait par emboîtement. A cet effet, on fait pénétrer l'un des tuyaux dans l'ouverture élargie de l'autre. On enfonce la partie mâle, entourée d'une ficelle enduite de cire et de suif, dans la partie femelle de celui déjà posé, et on assujettit l'assemblage en frappant sur un tampon en bois

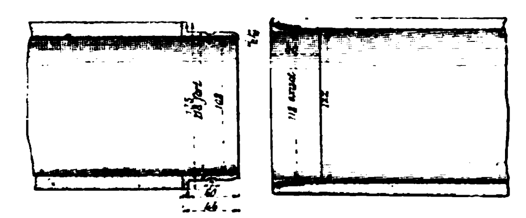


Fig. 83. — Tuyau Chameroy.

disposé dans l'ouverture libre du tuyau. Il faut avoir soin, en outre, de tourner la rivure vers le haut et de remplacer le bitume enlevé. Les tuyaux Chameroy sont un peu plus économiques que ceux en fonte; ils donnent une perte de charge bien moindre; ils sont plus faciles à poser et constituent à la fois une canalisation étanche et élastique. Par contre, on leur reproche de s'oxyder rapidement; mais, si la couche de bitume est suffisante et si la pente est bien établie — 7 à 10 millimètres par mètre. — leur durée est aussi longue que celle des tuyaux en fonte.

83. Raccords. — Les canalisations présentent forcément des coudes et des changements de section. Quel que soit le cas, il faut s'attacher à réduire au minimum les pertes de charge qui en sont la conséquence. En ce qui concerne les canalisations en fonte, on trouve dans le commerce des pièces de

raccord toutes prêtes correspondant aux différents angles. L'assemblage s'exécute alors par emboîtement.

Quant aux tuyaux Chameroy, on remplace les pièces en tôle bitumée par des manchons en plomb qui, par leur élasticité, se prêtent mieux aux exigences du tracé. Pour faire ce raccordement, on met à nu, sur quelques centimètres, l'extrémité des deux conduites à réunir; puis on prend un manchon en plomb de même diamètre, que l'on cintre en conséquence et dont on évase les deux bouts de façon à pouvoir recouvrir les extrémités des tuyaux en tôle. On soude ensuite le plomb et la tôle et on recouvre les joints de bitume.

Si les conduits à raccorder ont un diamètre assez considérable (0m,135 et au-dessus), les manchons de raccordement présentent à leurs extrémités deux évasements coudés dans lesquels on fait pénétrer les bouts, préalablement dénudés et entourés d'une corde, des conduits à réunir. Au moyen d'un refouloir, on repousse la corde jusqu'au fond de l'emboîtement; on mate ensuite le plomb de manière à bien l'appliquer sur la corde. On achève le joint en intercalant entre le plomb et la tôle une bague en caoutchouc. Pour donner plus de solidité, une frette passée au-dessus du plomb assure, par son serrage, l'étanchéité du joint (*fig.* 84).

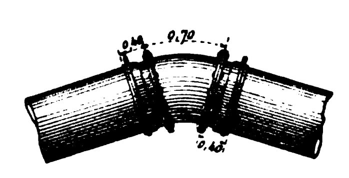


Fig. 84. — Raccord des tuyaux Chameroy.

Lorsqu'on veut réunir deux canalisations à angle droit, l'une des conduites est coupée sur une longueur de 50 à 60 centimètres, et on intercale, en suivant les prescriptions précédentes, un raccord en plomb en forme de té. La branche principale du té est jonctionnée, à l'aide d'un joint à brides, avec la seconde conduite par l'intermédiaire d'un manchon en plomb de 0m,25 à 0m,30 de long soudé à même sur la tôle.

Pour réunir, à une canalisation en charge, une conduite de diamètre assez important, il convient, afin d'éviter les fuites considérables et rendre le travail possible, d'arrêter la cir-

culation du gaz dans la portion de la première conduite intéressée par le travail de jonction. A cet effet, on fait usage de ballons obturateurs (*fig.* 85). Au préalable, sur la conduite en charge, on découpe au moyen d'un foret un trou d'un diamètre plus ou moins grand. Par ce trou, on introduit un ballon en caoutchouc qui porte un ajutage avec robinet extérieur. A l'aide d'une pompe ou d'un soufflet, on gonfle le ballon qui finit par obstruer le tuyau; on ferme alors le robinet. Dès lors, il est facile de travailler sur le tuyau sans déperdition sensible de gaz. Le raccord terminé, il suffit d'ouvrir le robinet pour vider le ballon et le retirer. On bouche ensuite le trou au moyen d'une plaque soudée, si la conduite est en tôle, ou d'une plaque bridée, si elle est en fonte.

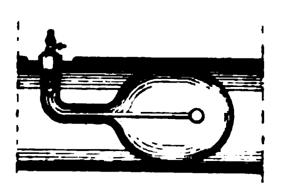


Fig. 85. — Ballon obturateur.

84. Branchements. — *Installation.* — La conduite générale étant établie, on branche sur elle les conduites secondaires destinées à amener le gaz aux appareils. Ces branchements se font généralement en plomb, lorsque leur diamètre est inférieur à 0m,081. Pour des diamètres supérieurs, on emploie la fonte ou les tuyaux Chameroy. Les tuyaux en plomb ont l'avantage de s'oxyder fort peu et d'être très malléables, ce qui rend leur pose facile.

Pour établir le branchement, il faut commencer la pose par l'extrémité opposée à la conduite, c'est-à-dire du côté des brûleurs; on évite ainsi d'avoir le gaz en pression dans la conduite secondaire pendant la durée du travail.

Lorsqu'il s'agit du branchement d'un candélabre, on ouvre une tranchée dirigée vers la conduite d'alimentation. Le profil de cette tranchée doit être réglé en pente vers la conduite principale, en ayant soin de faire poser le tuyau de plomb sur des voliges en bois goudronné. Le branchement est terminé à son extrémité par un collet à brides, comme il est indiqué plus loin, de manière à assurer sa jonction avec un moignon de prise réuni à la conduite principale. La

prise ne se fait pas de la même façon pour les tuyaux en fonte ou les tuyaux Chameroy.

Dans ce dernier cas, on enlève le bitume sur la partie choisie et on nettoie la tôle avec soin; si l'étamage est oxydé, on le reconstitue en décapant la tôle à l'esprit-de-sel, à la résine ou à la bougie. On prépare ensuite un moignon de prise constitué par un bout de tuyau de 0m,25 de long, dont les extrémités ont été retroussées extérieurement pour former collet. On soude l'un de ces collets à la tôle étamée au moyen d'une soudure dite d'empâtement. Lorsqu'elle est refroidie, on reconstitue la chemise de bitume de la conduite sur toutes les parties qui en avaient été dégarnies. On perce alors, à l'aide d'une mèche engagée dans le moignon, un trou d'un diamètre égal à celui du branchement. Cette mèche retirée, on réunit l'autre extrémité du moignon de prise par une paire de brides au collet du branchement. Il

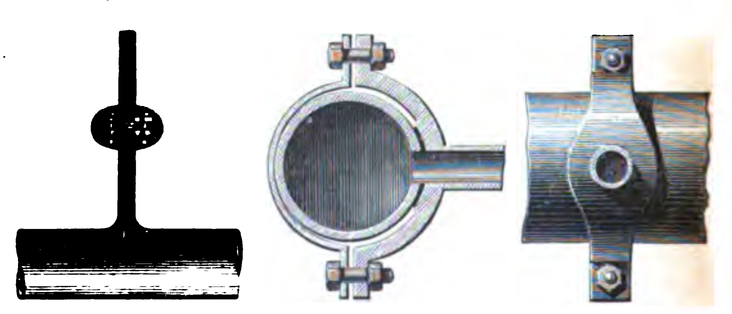


Fig. 86. — Branchement.

suffit alors d'étaler du bitume autour du joint (*fig.* 86) ainsi réalisé, de façon à éviter toute oxydation. Ce système à brides a comme avantage de permettre, le cas échéant, l'isolement d'un branchement, en intercalant une plaque pleine en plomb entre les collets.

Si la conduite est en fonte, la prise se fait non plus au moyen d'une soudure, mais à l'aide d'un collier en fer et

d'un joint au mastic ou au cuir gras (*fig.* 86). On coupe le tuyau en plomb à une longueur telle qu'il puisse pénétrer dans le tuyau en fonte d'une quantité égale à l'épaisseur de la fonte. On y soude un collet en plomb qui laisse dépasser un bout de tuyau de plomb d'une longueur égale à cette épaisseur. On perce dans la fonte un trou d'un diamètre égal au diamètre extérieur du plomb. Cette disposition a pour but d'assurer la position du branchement en plomb et d'éviter que le joint, s'il est au mastic, ne vienne obstruer une partie de sa section. On a eu soin, avant de souder le collet,

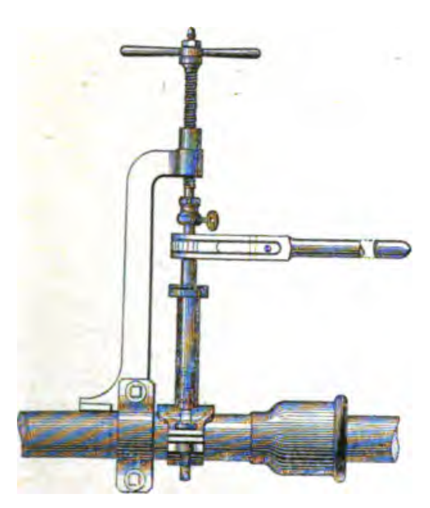


Fig. 87. — Machine à percer.

d'enfiler sur le tuyau en plomb la partie du collier en fer qui est percée à cet effet. On n'a donc plus, après avoir fait le joint, qu'à appliquer contre le tuyau en fonte la deuxième moitié de ce collier et à serrer les boulons. Le joint est rendu étanche avec un mastic ou une rondelle de cuir gras. Le percement des conduites se fait au moyen de la machine à forer (*fig.* 87). Les centres des mèches employées au percement sont filetés de manière à retenir la rondelle de métal découpé et l'empêcher de tomber dans la conduite.

Diamètre des branchements. — Les dimensions des tuyaux de branchement doivent être proportionnées à l'importance de l'installation à desservir. Le tableau ci-dessous fournit quelques renseignements à ce sujet :

Nombre de becs de 140 litres	5 à 19	20 à 39	40 à 59	60 à 99	100 à 299	300 à 500
Diamètre du branchement	0,027	0,034	0,034	0,041	0,082	0,118

85. Drainage des conduites et des branchements. — Lorsque les conduites de gaz sont disposées sous des voies plantées d'arbres, il est indispensable d'empêcher toute infiltration du gaz provenant des fuites, dans la terre végétale et les racines des plantes. A cet effet, on procède au drainage des conduites.

La conduite est entourée (*fig.* 88) d'abord de sable de rivière; puis au-dessus de la génératrice supérieure, à 10 centimètres environ, on dispose une ligne de tuyaux en poterie de $0^m,08$ de diamètre, placés bout à bout sans former joint. Tous les 50 à 60 mètres, on intercale un tuyau spécial en forme de **T**, dont la branche verticale, formant cheminée, vient déboucher dans un regard en fonte disposé sur le sol de la voie. Enfin, au-dessus de la ligne des tuyaux en poterie, on établit une bande de carton bitumé, en forme de voûte, forçant le gaz qui pourrait s'échapper à s'engager dans la ligne de tuyaux et de là dans l'atmosphère.



Fig. 88. — Drainage des conduites.

Il est bon d'assurer également le drainage des conduites dans tous les cas où la chaussée est à revêtement compact, tel que pavage sur fondation de béton ou asphalte. On empêche ainsi toute accumulation du gaz dans les cavités qui

peuvent se produire accidentellement dans le sous-sol.

Le drainage des branchements est réalisé simplement en les entourant d'une conduite en poterie ou de caniveaux en sapin créosoté. Le dernier drain, du côté où la conduite sort du sol, est mis en communication avec l'extérieur, au moyen d'un plomb de $0^m,013$ aboutissant à une ventouse circulaire de $0^m,03$ débouchant à l'air libre.

86. Siphons, robinets. — *Siphons.* — Par suite de son passage dans les divers appareils laveurs et épurateurs, le gaz se charge de vapeur d'eau qui se condense dans les conduites et peut les obstruer. On remédie à cet inconvénient en ins-

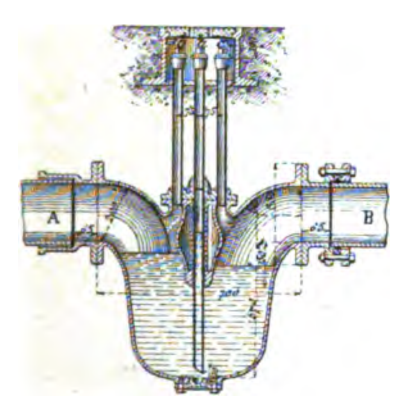


Fig. 89. — Isolateur hydraulique.

tallant, de distance en distance, aux points bas, des collecteurs d'eau ou siphons qu'on vide, de temps à autre, au moyen d'une pompe à main vissée à l'extrémité du tuyau de vidange plongeant jusqu'au fond du collecteur.

Au lieu de siphons, on peut employer des tuyaux isolateurs qui, tout en recueillant l'eau de condensation, peuvent servir, en outre, à l'isolement des conduites. Ils sont en forme d'U (*fig.* 89), dont les deux branches sont raccordées à la conduite générale. A l'intérieur de l'isolateur pénètrent trois tubulures, dont une seule, *a*, plonge jusqu'au fond; elle sert soit à la

vidange, soit, au contraire, au remplissage de l'isolateur. Dans ce dernier cas, il est facile de comprendre qu'en réunissant les deux conduits *b* et *c*, par une conduite extérieure sur laquelle on a installé un petit gazomètre gradué, il soit aisé de mesurer le gaz qui passe de A en B. Comme on le verra dans la suite, cet appareil peut servir à la recherche des fuites.

Robinets ordinaires. — Lorsque, pour une cause quelconque, on veut isoler une conduite, il faut la munir d'obtu-

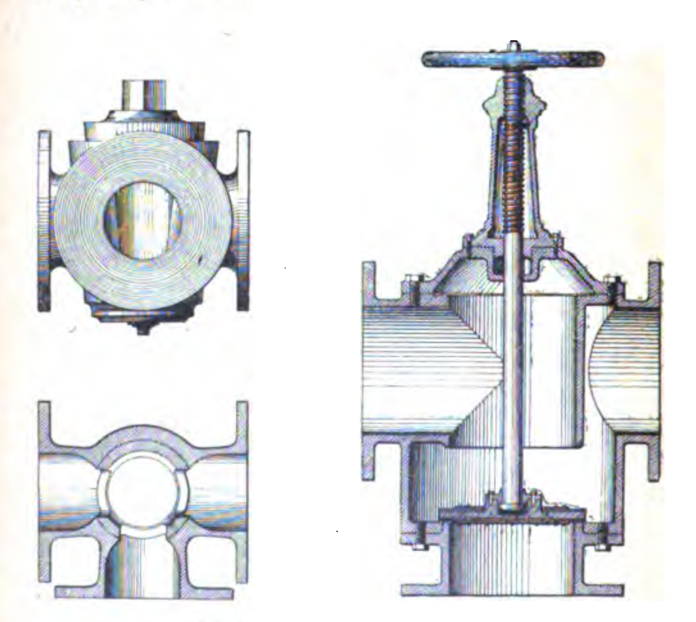


Fig. 90. — Robinet et vanne à 3 voies.

rateurs faciles à manœuvrer. On emploie des vannes de $0^m,810$ à 1 mètre de diamètre; elles sont formées par un plateau en forme de coin pénétrant dans une coulisse. Il y a, du reste, un très grand nombre de dispositifs (*fig.* 90). Pour des diamètres plus faibles, de 40 à 200 millimètres, on em

ploie des robinets en fonte; ils sont, comme les vannes, à deux ou trois voies, suivant les besoins. La pose de ces appareils doit se faire avec beaucoup de soin. Les vannes se placent entre deux tuyaux spéciaux à brides pour le raccordement. Au contraire, pour les robinets, il est préférable de recourir aux joints à emboîtement.

Robinet d'arrêt à coffret. — Les branchements destinés à l'alimentation des lanternes d'éclairage public ne sont généralement pas pourvus d'appareils intermédiaires entre la conduite principale et le foyer desservi. Il n'en est plus

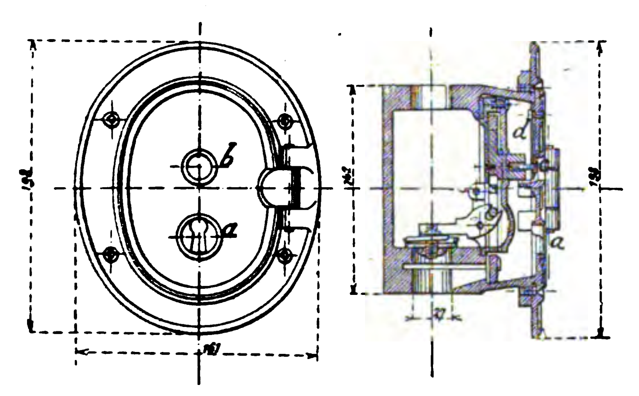


Fig. 91. — Robinet d'arrêt à coffret.

de même lorsqu'il s'agit d'un immeuble. Le branchement s'arrête alors à la façade, à un robinet à coffret placé dans le soubassement de la maison (*fig.* 91). Cette disposition permet d'isoler rapidement les canalisations intérieures du reste du réseau.

A cet effet, le coffret du robinet est fermé par une porte en métal, dont les agents de la Compagnie et ceux du contrôle ont seuls la clé, que l'on introduit par un orifice *a*. Une seconde ouverture *b* permet à l'abonné de manœuvrer, de l'extérieur, le robinet de la conduite. Toutefois il est facile à ces agents de fermer l'orifice *b* en plaçant derrière un bouton *c* en cuivre, supporté par une tige *d* fixée à la

porte par l'intermédiaire d'une vis autour de laquelle cette tige tourne à frottement dur. Cette manœuvre ne peut se faire qu'en ouvrant la porte du coffret.

Une fois mis, il est impossible à l'abonné de pouvoir toucher au robinet. Le bouton, visible extérieurement, indique si le gaz est à la disposition ou non de l'abonné. L'emploi de ce robinet à coffret, dont l'entretien est aux frais de l'abonné, n'est pas général.

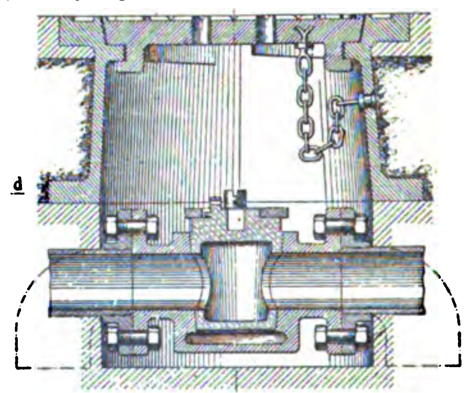


Fig. 92. — Robinet sous dalles.

Robinet sous dalles. — Lorsque les branchements sont d'un diamètre important, il est difficile de loger les coffrets correspondants dans les soubassements des façades sans nuire à l'aspect de ces dernières. On remplace alors le robinet à coffret par un robinet sous dalles, c'est-à-dire placé dans un regard sous la voie publique. La figure 92 représente un de ces appareils.

On peut d'ailleurs disposer, en amont et en aval du robinet sous dalles, des vannes permettant d'arrêter le passage du gaz lorsqu'on veut nettoyer le robinet. Un bypass d'une vanne à l'autre assure la livraison du gaz pendant que s'effectue le nettoyage.

87. Colonnes montantes. — *Conditions d'installation.* — A sa sortie du coffret ou du robinet sous dalles, le branchement est dirigé à l'intérieur de l'immeuble (*fig.* 93).

Lorsque les brûleurs sont répartis aux divers étages, il est avantageux d'établir une conduite maîtresse ou colonne montante à proximité des appartements à desservir. La colonne montante est généralement installée le long d'une des parois de la cage de l'escalier. Au droit de chaque étage, on établit un nouveau branchement se raccordant à la colonne au moyen d'un robinet à coffret. Toutes ces conduites se font le plus souvent en plomb ; elles doivent remplir certaines conditions pour éviter tout risque d'accidents :

1° Être d'un diamètre suffisant pour ne pas exagérer la perte de charge.

Le tableau ci-dessous de Schilling donne les diamètres à adopter pour des longueurs et des consommations déterminées (gaz de houille) ;

LONGUEUR de la CONDUITE EN MÈTRES	DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUYAUX EN MILLIMÈTRES							
	9.5	12.5	16	19	25.5	32	38	51
	Nombre de flammes à 140 litres de consommation horaire							
2	3	10	18	30	60	120	180	400
4	3	8	16	25	50	100	150	320
6	2	6	13	20	40	80	120	260
8	2	5	10	15	32	64	100	220
10	1	4	8	13	25	50	80	180
15	1	3	5	9	20	40	60	155
20		2	5	8	17	35	55	132
25		1	4	7	15	30	50	120
30		1	4	6	12	25	45	112
35			3	5	11	22	40	103
40			2	4	10	20	35	96
45			2	4	9	19	30	88
50			1	3	8	17	28	80
60				3	7	16	26	70
70				2	6	15	24	65
80				2	5	14	22	60
90				1	4	13	20	55
100				1	3	12	18	50
153					2	9	15	43
200					1	8	13	36
250						7	12	30
300						6	11	25

2° Être très apparentes (arrêté du préfet de la Seine

du 2 avril 1868), sauf naturellement dans le cas d'impossibilité, comme aux traversées des murs, des plafonds ou d'espaces peu accessibles. Il faut avoir soin alors d'entourer le plomb d'un manchon en fer ou en cuivre ; on évite ainsi l'écrasement du tuyau et, par suite, les fuites ;

3° Le gaz entraînant toujours un peu d'eau avec lui, il est nécessaire de la recueillir aux points bas et de l'évacuer par un orifice fermé au moyen d'un bouchon à vis. A chaque

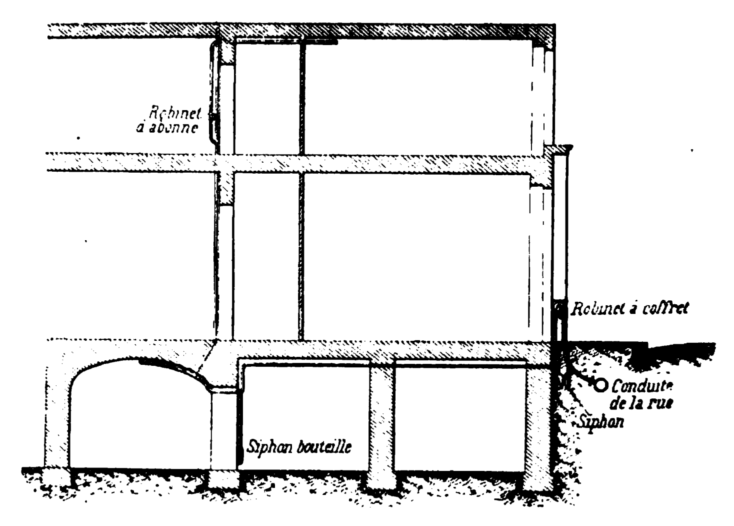


Fig. 93. — Installation de colonne montante.

point bas de la colonne montante, on installe des *siphons à bouteille* constitués par un plomb recourbé ouvert à l'une de ses extrémités. Ce tuyau est enfoncé dans une sorte de bouteille en fonte munie d'un bouchon dans le bas par où on fait écouler l'eau condensée. Ces siphons présentent un inconvénient : il arrive parfois qu'en soufflant dans les tuyaux on désamorce le siphon ; le gaz se répand alors dans la bouteille, qui n'est pas étanche. Il est facile d'y remédier en introduisant de l'eau par un orifice supérieur ;

4° Les conduits doivent être étanches. On s'en assure en remplaçant un brûleur quelconque par un manomètre. Tous les robinets des becs étant fermés, on ouvre celui du compteur jusqu'à ce que la pression se soit bien établie dans la conduite. On ferme alors ce dernier robinet; s'il n'y a pas de fuite, la pression doit se maintenir sur le manomètre;

5° Les locaux éclairés par le gaz doivent être toujours bien ventilés. Si l'on fait, par exemple, un branchement dans un plafond ou dans un mur, il faut avoir soin de ménager en cet endroit une ventouse pour empêcher toute accumulation du mélange explosif.

Pose des conduites. — Les tuyaux en plomb des branchements ou colonnes montantes sont maintenus, de distance en distance, par des clous à crochet espacés de $0^m,50$ environ. Lorsque la plomberie a un diamètre supérieur à 35 millimètres, ils sont remplacés par des colliers à scellement d'une plus grande résistance. L'assemblage des tuyaux bout à bout se fait au moyen d'une *soudure à nœud* (1 de plomb pour 1 1/2 ou 2 d'étain). A cet effet, on découpe les extrémités à raccorder; on écarte, à l'aide d'une toupie en buis, l'un des tuyaux et on rétrécit l'autre au marteau. On introduit les extrémités l'une dans l'autre, et on termine en répandant de la soudure fondue sur le joint.

Lorsqu'on réunit deux tuyaux à angle droit, on fait une soudure dite d'*empâtement;* l'une des conduites est percée d'un orifice dans lequel on engage l'extrémité rétrécie de l'autre tuyau et on fait la soudure comme pour les nœuds ordinaires.

L'extrémité de la conduite est fermée au moyen d'une soudure dite de *tamponnage.* Dans ce cas, on coupe d'équerre l'extrémité du plomb et on le mate peu à peu de manière à rétrécir l'orifice. On dispose ensuite, autour de ce tamponnage, de la soudure qui donne une parfaite étanchéité.

On peut avoir à intercaler, sur les tuyaux, des robinets en cuivre; leur soudure ne présente rien de particulier. Les robinets employés sont formés d'une clef dont la tête, mue par une poignée ou une manette, porte un taquet qui se déplace dans une encoche ménagée sur le boisseau; ce

taquet a pour but de limiter la course de la clef dans l'un ou l'autre sens.

Les tuyaux se font également en fer; ce métal convient plus particulièrement pour les installations rapides (éclairage temporaire des jours de fête). La rigidité des tuyaux en fer se prête facilement à la traversée des grands espaces dans le vide (éclairage des halles, portiques). Ils sont taraudés à leurs extrémités; l'assemblage se fait au moyen de manchons filetés. Pour rendre le joint étanche, on l'entoure d'étoupe imbibée de céruse. Comme pour la tuyauterie en fonte, on trouve des modèles spéciaux pour les branchements, coudes, etc. Ce mode de canalisation a comme inconvénient son obstruction rapide par suite de l'oxydation ; mais il résiste très bien aux chocs.

A l'intérieur des appartements, on emploie quelquefois des tuyaux en cuivre, moins épais et plus rigides que ceux en plomb. Ils conviennent, particulièrement, pour les salles ornementées, où, grâce à leur faible diamètre, on peut les dissimuler au milieu des moulures. Ils se soudent facilement aux tuyaux de plomb et se raccordent, entre eux, à la manière ordinaire.

88. Fuites, obstructions. — *Fuites.* — D'une manière générale, les conduites ne sont pas étanches; à la longue, les joints se disloquent, les tuyaux se rouillent et se percent, il en résulte des fuites. Leur importance atteint 7 à 8 0/0 du gaz fabriqué ; elles sont d'autant moins considérables que la pression est faible.

Les fuites sont décelées par le compteur d'émission, dont les évaluations sont supérieures à celles totalisées des compteurs d'abonnés. Lorsqu'on dépasse 7 0/0 de la fabrication, il faut procéder à leur recherche pour y remédier. Il convient, d'ailleurs, de remarquer que la différence accusée par le compteur d'émission et la totalité des compteurs d'abonnés n'indique pas exactement la perte de gaz, attendu que la pression n'a pas la même valeur dans les deux séries de compteurs.

Soient en effet : p, la pression du compteur d'émission ; p', la pression moyenne des compteurs d'abonnés ; p'', la

pression moyenne dans le réseau; δ, la densité du gaz; α, la pression atmosphérique ; a, le poids du litre d'air.

Si une masse M sort de l'usine, une certaine partie m se perdra en fuites; si bien que la masse du fluide M' consommée chez les abonnés sera donnée par la relation :

$$M' = M - m.$$

Pour calculer cette expression en fonction des volumes V', V, V'', correspondant aux masses M', M et m, il suffit d'appliquer la formule générale donnant la masse d'un gaz en fonction de sa pression p, du volume v, de sa densité δ et du binôme de dilatation $(1 + \beta t)$,

$$M = \frac{a \,.\, p \,.\, v \,.\, \delta}{1 + \beta t}.$$

On aura dès lors la relation :

$$\frac{a\,(\alpha + p')\,V'\delta}{1 + \beta t'} = \frac{a\,(\alpha + p)\,V\delta}{1 + \beta t} - \frac{a\,(\alpha + p'')\,V''\delta}{1 + \beta t''}.$$

Si on admet que la température est la même dans toute la distribution, la formule devient, après simplification :

$$(\alpha + p')\,V' = (\alpha + p)\,V - (\alpha + p'')\,V'';$$

d'où :

$$V'' = \frac{(\alpha + p)\,V - (\alpha + p')\,V'}{(\alpha + p'')};$$

le volume V'' indique la perte correspondant à un débit initial V.

Il y a plusieurs méthodes pour rechercher les fuites ; nous décrirons les plus simples, qui sont les meilleures. La canalisation présentant un très grand parcours, il faut d'abord déterminer la ligne du réseau qui fuit, puis le point de cette ligne. On profite, tout d'abord, des robinets de barrage pour

sectionner les conduites; le plus éloigné est fermé, puis les suivants en se rapprochant successivement des compteurs de l'usine et en évaluant les pertes à chaque fractionnement. A défaut de robinets de barrage, on peut employer les ballons obturateurs signalés précédemment. La lecture au compteur n'est possible que si la consommation est arrêtée dans toutes les conduites qu'il commande, c'est-à-dire dans un cas tout à fait spécial. Lorsqu'il s'agit d'une conduite isolée il est facile d'en faire l'essai direct: l'une de ses extrémités est fermée, l'autre communique avec une conduite en charge; en intercalant un compteur, s'il y a des fuites, il fonctionnera d'une manière continue et donnera l'importance de la perte.

Le système des robinets de barrage ou des ballons obturateurs peut être remplacé par celui des isolateurs hydrauliques (*fig.* 89) qui, tout en faisant office de siphons, peuvent servir à la recherche des fuites. Le siphon étant plein d'eau, il suffit de faire communiquer, par l'ouverture *c*, la conduite B en amont de celle A à essayer avec un gazomètre portatif. Ce dernier étant rempli de gaz, on l'isole de B au moyen d'un robinet et on le met en communication par *b* avec la conduite à essayer A. L'abaissement de la cloche du gazomètre indiquera la valeur des fuites.

Quand on a déterminé la section dans laquelle se produit la perte, on peut trouver l'endroit exact au moyen d'un papier imbibé de 3,75 de chlorure de palladium pour 1,25 de chlorure de cuivre, qui noircit sous l'action de l'oxyde de carbone du gaz. Pour faire cet essai, le long de la conduite, tous les 2 à 3 mètres environ, on enfonce, de $0^m,20$ à $0^m,40$ dans le sol, des tubes métalliques surmontés de tubes en verre dans lesquels plonge un papier réactif. Le gaz, en montant à l'intérieur des tubes, noircit au bout de 15 à 20 minutes le papier à l'endroit de la perte. La recherche des fuites demande beaucoup de soin; il faut surtout ne pas oublier de fermer tous les robinets des brûleurs.

Les fuites à l'intérieur des appartements se décèlent en remplaçant un bec par un manomètre et en mettant la conduite en charge; s'il y a des pertes, le manomètre baisse. Leur importance se mesure au compteur qui continue de fonctionner. Pour déceler l'endroit exact, le moyen le plus

simple est le flambage ; il consiste à déplacer, le long de la canalisation, une flamme au contact de laquelle le gaz prend feu. Ce procédé est très dangereux, à cause des risques d'incendie ; on ne doit pas l'employer. Il vaut mieux se contenter de passer sur les tuyaux un peu d'eau de savon : une bulle se forme au point où le gaz fuit. Très souvent, du reste, les fuites s'annoncent par l'odeur ou par le sifflement du gaz à sa sortie. On peut même augmenter ce dernier caractère par de l'air sous pression qu'on injecte au moyen d'une pompe dans la canalisation à essayer.

Obstructions. — L'obstruction des conduites ou des branchements provient, le plus souvent, des dépôts de naphtaline ou d'eau condensée. En effet, si à 80° il faut 60 grammes de naphtaline pour saturer un mètre cube de gaz, à 40° il ne faut plus que $2^{gr},5$, et à 10° $0^{gr},24$; il suffit donc d'un changement un peu brusque de température pour produire la condensation. On dégage les conduites à l'aide d'un hérisson que l'on introduit par un trou percé dans ce but et qu'on déplace le long du tuyau, fermé au préalable par un ballon à chaque extrémité. Dans le cas de branchements, il suffit, à l'aide d'un soufflet, d'introduire de l'alcool, qui a la propriété de dissoudre la naphtaline ; on chasse la dissolution dans la conduite principale.

Par les temps froids, on peut employer des moyens préventifs qui consistent à ajouter à l'usine des composés dont la vapeur dissout la naphtaline : le meilleur dissolvant à cause de sa tension élevée, 61 millimètres à 15°, est la benzine, dont 100 grammes absorbent, à 10°, 40 grammes de naphtaline. On peut se servir également de xylène ou d alcool. L'alcool à 90-95° est vaporisé dans un carburateur à raison de 7 grammes par mètre cube. Tous ces composés, non seulement ne nuisent pas au gaz, mais encore retardent la congélation de l'eau qu'ils entraînent à l'état liquide jusqu'au prèmier siphon.

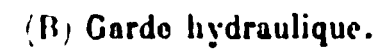
89. Compteurs. — *Compteur ordinaire à eau.* — Pour déterminer la consommation du gaz chez l'abonné, on se sert de compteurs. Il y en a de deux sortes : les compteurs

humides et les compteurs secs. Les premiers sont les seuls employés en France : la présence de l'eau entraîne bien l'obligation d'un nivellement périodique ; mais cette sujétion a été admise sans difficulté.

Le principe est basé sur la rotation d'un cylindre horizontal divisé en plusieurs compartiments égaux recevant le gaz du côté de la canalisation générale et le déversant dans celle des brûleurs. Connaissant le volume de ce cylindre, il suffit d'enregistrer le nombre de tours pour avoir à chaque instant la quantité de gaz débité.

L'appareil comporte quatre organes principaux : 1° le


(A) Bouchon de dégorgement.


(B) Garde hydraulique.

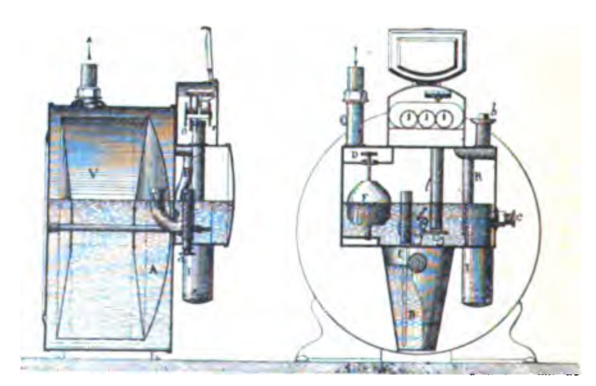


Fig. 94. — Compteur à gaz ordinaire.

volant ; 2° le régulateur ; 3° le flotteur avec sa soupape ; 4° la transmission de mouvement et le cliquet (*fig.* 94).

Le *volant* V est formé par un tambour horizontal, en étain durci ou en tôle de fer, divisé en quatre chambres distinctes ou augets par des plans inclinés sur l'axe. D'un côté du tambour, ou face avant, se trouve disposée une calotte sphérique A, dans laquelle a lieu l'arrivée du gaz. L'entrée du gaz dans chaque auget se fait par une fente s'ouvrant dans cette calotte ; la sortie est sur la face opposée et débouche dans la caisse du compteur. Le tambour tourne autour d'un axe

dans une caisse cylindrique contenant de l'eau à une hauteur telle que, si une des ouvertures de l'auget est au-dessus de l'eau, l'autre est complètement immergée; de cette façon, il n'y a jamais communication directe entre l'entrée et la sortie et chaque compartiment est bien rempli de gaz avant de le laisser échapper dans la caisse. Pendant le fonctionnement de l'appareil, les cloisons des augets sont soumises d'un côté à la pression des brûleurs, de l'autre à celle du gaz à l'arrivée; la différence produit le mouvement de rotation. Le débit est continu sans fluctuation; une chambre n'est pas complètement vidée que la suivante commence à fournir du gaz. Le volant ne doit pas faire plus de 100 tours à l'heure.

L'entrée du gaz sous la calotte a lieu par un siphon dont les deux branches T s'élèvent au-dessus de l'eau. La branche de départ du siphon débouche dans une caisse spéciale, à l'avant du compteur, où sont groupés les organes complémentaires et par où arrive le gaz. Le niveau de l'eau ne doit pas dépasser l'orifice de départ: sinon l'eau entre dans le siphon qu'elle remplit et arrête l'entrée du gaz dans le tambour.

Cette eau peut être retirée soit par une ouverture fermée par un bouchon à vis *a* au point le plus bas, soit, plus simplement, par un tube *t* plongeant dans une cuve B faisant joint hydraulique. Ce dernier dispositif est préférable, car on n'a plus à craindre d'oublier la remise en place de la vis de fermeture du siphon.

Le volume de chaque auget est limité par les parois du volant et par le plan horizontal de l'eau, c'est-à-dire par une surface qui ne tarde pas à baisser par suite de l'évaporation du liquide. Il faut pouvoir le régulariser à certains intervalles sans l'élever ou l'abaisser : en effet, trop bas, le niveau donne un volume d'augets trop grand; l'inverse a lieu s'il est trop haut. Le réglage est obtenu au moyen de deux tubes R et I formant le *régulateur*. Le tube R débouchant à la partie supérieure sert à l'emplissage par l'orifice *b*; l'autre I a son ouverture affleurant le niveau exact à ne pas dépasser; l'eau du trop-plein se déverse dans ce tube, d'où elle peut s'écouler à l'extérieur par le bouchon à vis *c*.

Le régulateur se trouvant du côté de l'arrivée du gaz, l'eau

est à un niveau inférieur à celui de la sortie dans la caisse. La dénivellation, de 2 à 3 millimètres, est produite par l'absorption de pression que nécessite la rotation du volant. Il est indispensable, au point de vue du nivellement, que le régulateur soit soumis à la pression d'entrée du gaz plutôt qu'à la pression de sortie. Si le régulateur était soumis à la pression de sortie, la dénivellation du compteur serait rendue très facile, car le niveau s'élevant à mesure que le débit de l'appareil augmente, il suffirait d'enlever la vis de niveau pendant la marche.

Pour empêcher que le niveau de l'eau ne s'abaisse au point de permettre le passage direct du gaz par le centre même de la caisse, le tuyau d'arrivée est muni d'une *soupape* D avec *flotteur* F, qui suit l'eau dans ses dénivellations, et finit par fermer l'orifice d'admission.

L'enregistrement du nombre de tours du volant se fait au moyen d'une *transmission* par vis sans fin terminant l'arbre du volant et d'une roue hélicoïdale calée sur un axe vertical *l*. Ce dernier porte, à son extrémité supérieure, un tambour indiquant le nombre de litres consommés et dont le mouvement doit être régulier et continu pour un même débit. Une série d'engrenages *o*, avec aiguille indicatrice, servent à enregistrer les unités, les dizaines et centaines de mètres cubes. Afin d'éviter tout retour de l'appareil sur lui-même, l'axe du tambour porte une roue avec cliquet *f*.

L'arbre vertical, à sa partie supérieure, est entouré d'une garniture ; pour assurer l'étanchéité de ce joint, on entoure l'arbre d'un tube qui, soudé dans le haut, plonge dans l'eau et forme joint hydraulique.

On a imaginé, pour supprimer cette complication, de remplacer la vis par un aimant permanent et de monter sur l'axe de la minuterie, placé alors dans le prolongement de celui du volant, un barreau de fer doux entraîné par l'aimant : il y a double avantage : suppression des fuites et diminution des frottements. Un cliquet empêche la marche rétrograde.

Le nivellement du compteur doit se faire tous les mois environ. Pour cette opération, il faut fermer l'arrivée du gaz, ouvrir du côté de la sortie un robinet quelconque et verser l'eau, après avoir retiré tous les bouchons à vis de l'appareil.

L'opération est terminée quand l'eau s'écoule par l'orifice du niveau *c*; on replace alors les vis d'obturation. Pour vérifier par la même occasion le fonctionnement du compteur, il suffira d'ouvrir le robinet d'admission et celui d'un brûleur quelconque; le tambour enregistreur doit tourner pour le plus faible débit.

On doit choisir, pour l'emplacement du compteur, un endroit dont la température est voisine de celle du gaz dans la canalisation générale. Il faut éviter de l'installer dans des endroits froids, chauds ou humides. Exposé au froid, non seulement l'eau du compteur peut geler, mais encore certains carbures du gaz se condensent. On doit le placer en contre-bas des conduits, de manière à ramener vers lui les condensations ou entraînements d'eau possibles. Il faut donc éviter, lorsqu'on l'installe dans une cuisine, de le mettre près du plafond, où la température élevée ne tarderait pas à provoquer l'évaporation de l'eau, l'abaissement de la soupape et l'arrêt du gaz. Un compteur doit être bien de niveau; incliné à l'avant, il augmente la capacité du volant; en exagérant même cette inclinaison, on peut arriver à faire passer le gaz directement par le centre du volant, sans enregistrer la consommation; l'inclinaison inverse produit l'effet contraire. De même, lorsqu'un compteur est incliné de gauche à droite, les indications du tambour des litres sont inférieures à la réalité. Enfin, l'installation doit se faire dans un endroit sec et aéré pour éviter les détériorations du métal.

L'importance d'un compteur s'évalue en becs correspondant à un débit horaire de 140 litres. Jusqu'à 200 becs, les compteurs se font en tôle ; au delà, l'enveloppe est en fonte. Dans bien des cas, étant données les dimensions de ces derniers, on supprime la soupape et son flotteur pour ne pas courir le risque d'occasionner l'arrêt du gaz par suite de l'abaissement du plan d'eau, dont l'alimentation peut se faire, du reste, d'une manière continue ; il suffit, comme pour les compteurs de fabrication, de les munir d'un tube en siphon par lequel s'écoule l'eau amenée en excès dans le compteur. Un tube niveau d'eau, recevant par le haut la pression de gaz à l'arrivée, indique la hauteur du liquide. Les volants de ces compteurs se font en forte tôle de plomb rivée et

soudée renforcée par des cornières en fer étamé. L'arbre est en acier, maintenu à l'arrière par un support fixe permettant le passage du siphon, et, à l'avant, par une traverse indépendante du compteur, d'où il sort par un presse-étoupes facile à resserrer. Les conduites d'entrée et de sortie sont placées sur la face arrière, à côté l'une de l'autre, et reliées par un tuyau de secours. Trois robinets ou vannes commandent ces tuyaux.

Le tableau ci-après indique les principales caractéristiques des compteurs de diverses capacités.

NOMBRE DE BECS	5	10	20	30	40	60	80	100	150	200
Hauteur en mm	355	448	530	625	680	735	800	865	965	1020
Largeur en mm	350	407	485	558	607	667	702	775	854	1020
Profondeur en mm	250	320	410	480	510	620	690	730	870	1120
Quantité d'eau nécessaire exprimée en litres	10	20	38	65	75	115	145	190	225	450
Volume par tour en litres	7	14	28	42	56	84	112	140	210	280
Pression absorbée à la vitesse de 100 tours à l'heure en mm.	2 à 3	2 1/2 à 3 1/2	3 1/2 à 4 1/2	4 à 5	4 1/2 à 5 1/2	5 à 6	6 à 7	7 à 8	8 à 9	9 à 11
Diamètre des branchements (entrée et sortie, en mm.	20	27	35	40	50	50	55	55	81	81

Arrêts d'un compteur. — Après s'être assuré que le gaz arrive bien jusqu'au compteur, ce qu'il est facile de vérifier en retirant la clé du robinet d'introduction, on cherche quelles peuvent être les causes d'arrêt de l'appareil.

Souvent, par manque d'eau, la soupape d'arrivée obstrue l'entrée du gaz ; un nivellement rapide rétablit la circulation ; elle peut rester collée sur son siège ; quelques coups sur la caisse la font retomber.

Parfois, avec le système de siphon à vis, il y a excès d'eau, le siphon est *noyé ;* il suffit d'ouvrir le bouchon de vidange *a* ; pour aller plus vite, on ouvre, en même temps, celui du régulateur. La transmission peut offrir une résistance anormale et ralentir la rotation au point de produire des fluctuations de la flamme ; il faut alors envoyer l'appareil en réparation.

Sans arrêter le passage du gaz, le compteur peut être avarié,

ce que l'on reconnait aisément en comparant la consommation réelle, d'après le nombre des brûleurs, à celle enregistrée, soit en vérifiant, pour un faible débit, le fonctionnement du tambour enregistreur. Le volant ou la tôle qui sépare l'enveloppe de la boîte prismatique se trouvent percés; dans les deux cas, le gaz passe directement sans faire tourner le volant. Enfin, la vis sans fin est usée et n'engrène plus avec l'arbre; il est facile dans ce cas de s'en apercevoir, le compteur ne marquant plus, même pour les fortes consommations.

Compteurs spéciaux humides. — Le point faible du compteur précédent est le manque de fixité du plan d'eau qui, trop haut, lèse les intérêts des particuliers et, trop bas, celui des usines. Pour que l'abaissement du niveau soit très sensible, il suffit d'employer un flotteur assez puissant qui permet de maintenir la soupape à faible distance de son orifice. De même, pour empêcher qu'on ne puisse élever le niveau beaucoup plus haut que l'orifice du régulateur, il suffit d'ajouter un second tuyau débouchant à peu de distance au-dessus de cet orifice et plongeant dans la garde hydraulique du siphon (compteur Lyonnais).

On a imaginé également (P. Rouget) de faire passer le gaz préalablement dans une bâche pleine d'eau, où il se sature avant d'arriver au compteur; de cette façon, il n'y a plus d'évaporation de l'eau du compteur et il suffit de renouveler celle de la bâche. Ce dispositif ne préserve pas contre la surélévation possible du niveau.

On peut rendre également les mesures invariables en compliquant un peu le système. Dans le dispositif *Warner et Cowan*, on a un double volant. Le volant proprement dit est construit comme celui du compteur ordinaire, mais il porte dans sa partie centrale un second volant plus petit, établi de façon que les ouvertures se découvrent au fur et à mesure que le niveau s'abaisse, donnant ainsi accès à un volume de gaz équivalent à la quantité d'eau disparue. La face postérieure du volant principal correspond à la face antérieure du petit volant et communique avec elle; les cloisons hélicoïdales sont placées dans des directions opposées. Il en résulte qu'à

chaque révolution le grand volant livre au petit une quantité de gaz proportionnelle à la surface émergée des ouvertures de ce dernier, et que, quelle que soit l'augmentation de capacité, le petit volant restitue au grand, pour le faire mesurer, toute la quantité de gaz passée en excès.

Le système *Siry-Lizars* est différent (*fig.* 95). A l'intérieur du volant ordinaire, on a disposé quatre canaux renversés ou cuillères, parallèles deux à deux, et fixées : deux F, F' sur le

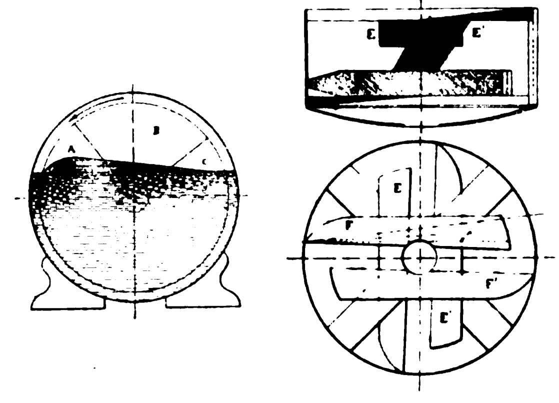


FIG. 95. — Compteur à débit constant.

devant, les deux autres E, E' à l'arrière. Chaque cuillère fait communiquer deux compartiments opposés. Dans la position indiquée par la figure, l'admission cesse en B ; A se vide et C se remplit. La cuillère retient une partie du gaz de A (partie ombrée) déjà mesurée pour le déverser en C. Le volume réservé est d'autant plus grand que le niveau est plus bas, et réciproquement ; il y a compensation. Pour que l'équilibre soit complet, il suffit que la section de la cuillère soit égale à la somme des surfaces sur lesquelles a lieu l'abaissement du liquide dans le compartiment mesureur.

Un inconvénient des compteurs humides est que l'eau peut geler. Pour l'en empêcher, on a imaginé de l'additionner d'alcool mélangé d'huile de naphte, soit environ un cinquième du volume total ; mais le mélange, trop volatil, ne tarde pas à

s'évaporer. La glycérine à 1,1 de densité résistant à — 12° peut être utilisée également; elle a l'inconvénient d'attaquer le métal de la caisse. On a essayé également l'emploi de subs-

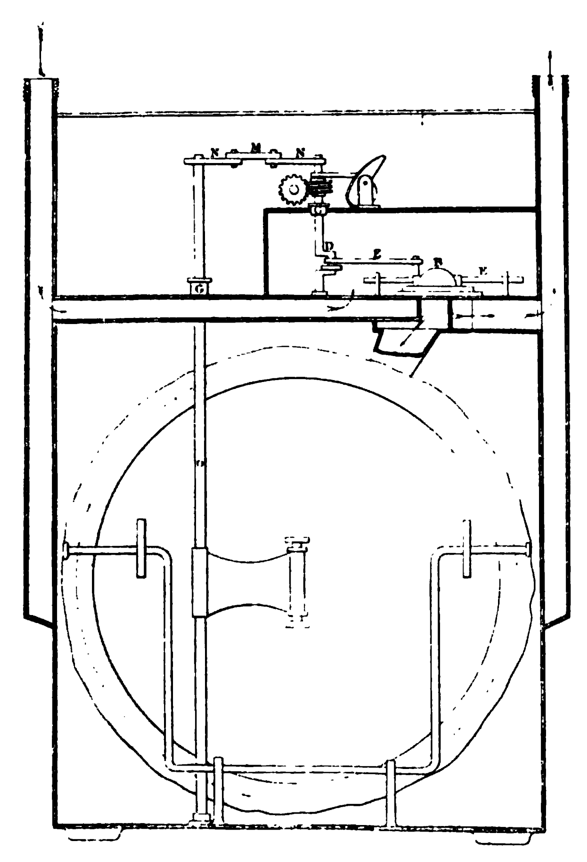


Fig. 96. — Compteur sec.

tances difficilement congelables, comme le sulfate de fer, de zinc, de chlorure le calcium, de magnésium, etc. ; les résultats n'ont pas été absolument satisfaisants. Aussi, le plus sou-

vent, se contente-t-on d'entourer le compteur d'enveloppes calorifuges : feutre, étoupe, paille, etc.

Compteurs secs. — Les compteurs secs ont le grand avantage de supprimer l'eau d'où dérivent les seuls inconvénients des appareils précédents : congélation et mesure

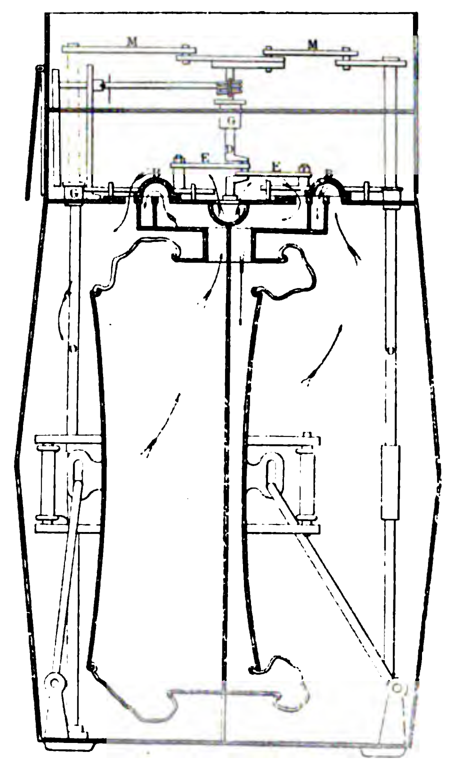


Fig. 96 *bis*. — Compteur sec.

irrégulière ; aussi sont-ils employés dans un grand nombre de pays.

Le compteur sec est constitué par deux soufflets faisant l'office des pistons d'une pompe aspirante et foulante. Ils se

déplacent chacun dans une caisse spéciale, et sont actionnés par la différence de pression entre l'arrivée et la sortie du gaz. La distribution du gaz dans chaque soufflet se fait au moyen d'un tiroir B (*fig.* 96 et 96 *bis*) analogue à celui d'une machine à vapeur. Le mouvement du tiroir est obtenu par l'intermédiaire de bielles E, reliées à deux manivelles D appartenant à un arbre vertical que fait mouvoir alternativement un jeu d'articulations M, actionné par les arbres de transmission O commandés par les soufflets. Chaque rotation de cet arbre se transmet par une vis à l'appareil enregistreur. Le réglage du compteur se fait à l'aide d'un petit écrou qui modifie la course des bielles E et par suite celle des soufflets. Les différents arbres verticaux traversent des boîtes à étoupe G qui empêchent les fuites.

On reproche aux compteurs secs de nécessiter un réglage fréquent, et, pour leur fonctionnement, d'absorber beaucoup trop de pression, 7 à 8 millimètres.

Compteurs à paiement préalable. — Quel que soit le système de compteur, on peut lui appliquer le régime du paiement préalable. Sur le côté de l'appareil se trouve un distributeur dans lequel il suffit d'introduire une ou plusieurs pièces de monnaie pour avoir un approvisionnement de gaz à consommer correspondant à la somme versée. Il existe un grand nombre de ces appareils. En principe, l'introduction de la pièce de monnaie a pour effet de soulever une soupape d'admission du gaz que vient refermer un mécanisme relié au mécanisme enregistreur, après la consommation fixée à l'avance. Le cadran enregistreur subsiste toujours et sert au contrôle des sommes versées.

Ce système, qui a réussi en Allemagne et en Angleterre, ne paraît pas devoir se développer en France.

CHAPITRE VII

BRULEURS

90. Propriétés du gaz. — Le gaz d'éclairage est un fluide incolore, d'une odeur forte due à la présence de certains carbures. Cette odeur ne constitue pas un inconvénient; elle sert à déceler les fuites. La composition moyenne du gaz est la suivante :

	En volume			En poids		
	0/0	Poids correspondant	Chaleur de combustion	0/0	Volume correspondant	Chaleur de combustion
Hydrogène........	$0^{m3},470$	0,042	1213	0,074	0,829	2137
Méthane..........	0 , 340	0,243	2898	0,428	0,599	5093
Oxyde de carbone.	0 , 090	0,113	273	0,199	0,142	479
Benzol............	0 , 012	0,042	530	0,074	0,022	942
Ethylène..........	0 , 038	0,048	405	0,084	0,066	697
Acide carbonique..	0 , 025	0,049	»	0,086	0,045	»
Azote.............	0 , 025	0,031	»	0,055	0,045	»
Total.......	$1^{m3},000$	0,568	5319	$1^{kg}000$	1,748	9348

Le poids d'un mètre cube étant de $0^{kg},568$, sa densité par rapport à l'air sera de 0,430; elle varie le plus souvent entre 0,350 et 0,440. Il est éminemment combustible et il suffit, pour l'enflammer, de l'approcher d'un corps à 500°; la chaleur de combustion sera d'autant plus grande que la teneur en méthane est élevée. Une fois enflammé, la combustion au contact de l'air a pour effet de dissocier les carbures en mettant en liberté des particules de carbone qui, portées à l'incandescence, donnent au gaz sa couleur jaune éclatante.

Le pouvoir éclairant est surtout dû au benzol et à l'éthylène; il suffit d'augmenter la proportion de ces hydrocarbures (Knublauch) pour accroître le pouvoir éclairant, ou, inversement, de les absorber (Sainte-Claire Deville) successivement pour le réduire. Il existe une certaine corrélation entre la proportion de méthane et d'hydrocarbures, c'est-à-dire que la puissance calorifique et le pouvoir éclairant varient dans le même sens. La théorie du pouvoir éclairant dû à l'incandescence du carbone a été combattue en se basant sur ce fait qu'un gaz fortement chauffé ne devient pas incandescent, que la couleur de la flamme change avec la matière qui lui donne naissance, et enfin sur d'autres considérations relatives à la transparence des flammes.

Quoi qu'il en soit, pour obtenir avec le gaz seul une bonne lumière, il faut le débiter sous une forte épaisseur et une faible pression. Le première des conditions a pour effet de favoriser la décomposition des carbures avant leur combustion et d'empêcher qu'une trop grande quantité de fluide soit mise en contact avec l'air comburant; la seconde condition se justifie facilement: en effet, si la pression est élevée, le mélange avec l'oxygène de l'air se fait rapidement; la combustion du carbone est précipitée et la durée du rayonnement des particules abrégée. Avec une pression exagérée, on peut même arriver à éteindre la flamme. D'après les essais de Bunte, dans un brûleur à trou de $0^{mm},75$ de diamètre et $0^{mm2},244$ de section longitudinale, le gaz s'éteindrait à 823 millimètres de pression d'eau correspondant à une vitesse de 137 mètres par seconde. Ces chiffres varient avec la nature du fluide; ils atteignent leur maximum avec l'hydrogène et leur minimum avec l'oxyde de carbone.

Pour obtenir une source lumineuse intense, il faut joindre aux conditions précédentes celle de la température. Tous les corps solides, pour émettre des radiations lumineuses, doivent être portés à un certain degré de chaleur; plus ce degré est considérable, plus le pouvoir éclairant est élevé. Comme on le verra plus loin, on a augmenté la chaleur de combustion en chauffant le gaz ou l'air au préalable.

Avec la flamme énclaitre, une grandep raceed itaal chaleur s'échappe sans être utilisée. Si on augmente la quantité

d'air, on diminue le pouvoir lumineux; par contre, la puissance calorifique s'accroît au point de pouvoir porter à l'incandescence un corps solide. Le mélange avec l'air doit se faire dans des proportions et des conditions convenables, sinon on risque de produire un mélange détonant. En effet, le pouvoir détonant commence à 3 0/0 de gaz pour atteindre son maximum à 9 0/0 et finir à 28 0/0. Il suffit alors de la moindre étincelle ou du contact d'un corps incandescent pour amener l'explosion.

Dans tout brûleur, la quantité de gaz consommé dépend des dimensions de l'orifice de sortie et de la pression, mais seulement pour un gaz déterminé. En passant d'un gaz à un autre, il faut tenir compte de sa nature et surtout du poids spécifique; en effet, les quantités de gaz différents qui s'écoulent par un même orifice, à la même pression, sont en raison inverse de la racine carrée des densités. Ces observations n'influent en rien sur les conditions de principe établies précédemment.

Le nombre des appareils à gaz est assez considérable, on les groupe en quatre classes différentes :

1° Brûleurs à air libre ;
2° Brûleurs à air chaud ;
3° Brûleurs à incandescence ;
4° Brûleurs à gaz carburé.

§ 1. — Bruleurs a air libre

91. Bec bougie. — Ce brûleur, le plus simple de tous, est constitué par un bouton sphérique, en fonte ou en stéatite, percé d'un trou circulaire dans le prolongement de la conduite. La forme de la flamme est celle d'un fuseau allongé comme celle des bougies ordinaires; mais la hauteur et la forme du fuseau dépendent de la nature du gaz. Il ne s'agira ici que du gaz de houille.

Le diamètre du trou varie de $0^{mm},5$ à $3^{mm},5$. Toutes proportions gardées dans la consommation, le pouvoir éclairant croît avec le diamètre du trou ; autrement dit, le rendement

lumineux est proportionnel au diamètre. Ces becs jouissent de la propriété d'exiger, pour une même hauteur de flamme, quel que soit le diamètre, le même débit de gaz ; en outre, pour un même bec, la consommation est proportionnelle à la hauteur de flamme. C'est ainsi qu'un bec de 2 millimètres donne, pour 9 millimètres de pression, $8^b,56$ avec une consommation de $11^{lit},1$ par bougie ; la hauteur de flamme est alors de $0^m,30$; mais, comme le fonctionnement est assez défectueux, on ramène cette hauteur à $0^m,10$; la pression n'est plus que de 2 millimètres et le débit de 34 litres ; le rendement est moins élevé, car l'intensité n'est plus que de 2 bougies, soit exactement 16,9 litres par bougie.

Une autre propriété est que, pour un même bec et une même pression, le pouvoir éclairant varie en raison inverse de la hauteur, d'où la possibilité, en mesurant cette dernière, de connaître la puissance lumineuse correspondante.

Le bec bougie, qui ne donne qu'une lumière insuffisante et coûteuse, n'est guère employé que pour des éclairages spéciaux, dans des girandoles, des lustres ; pour imiter la bougie, on entoure le tube d'arrivée du gaz d'un manchon en porcelaine. On a imaginé des becs à deux ou trois trous assez rapprochés pour n'avoir qu'une flamme, mais le rendement lumineux est le même que s'ils étaient isolés.

92. Bec papillon. — Il est formé (*fig.* 97) par un bouton sphérique creux en métal ou en stéatite, percé suivant le diamètre d'une fente régulière, par où s'échappe le gaz, en donnant une flamme plate en éventail. L'importance du bec dépend du diamètre du bouton et de la largeur de la fente, qui varie de 1/10 à 10/10 de millimètre et dont la valeur est indiquée sur le corps du brûleur par une série de rainures en nombre égal aux fractions de millimètre. Le diamètre du bouton, quoique ayant moins d'influence que la fente, doit être proportionné au débit.

D'après Sainte-Claire Deville, le débit d'un brûleur à flamme plate peut se représenter par l'équation :

$$Q = m \sqrt{h},$$

h étant la pression, et m un coefficient, fonction de la nature et de la forme de l'orifice. C'est l'expression simplifiée de la formule plus générale de l'écoulement des fluides par un orifice.

Les observations relatives aux faibles pressions et fortes épaisseurs s'appliquent aux becs fendus, comme l'ont démontré Audouin et Berard.

Pour un papillon déterminé, le débit Q croissant avec la pression h, l'effet utile, c'est-à-dire le quotient du pouvoir éclairant par la dépense, atteint son maximum avec la pression la plus forte que le bec puisse supporter sans inconvénient pour l'allure de la flamme. Cette limite arrive très vite pour les becs de 2/10, 4/10; il faut donc donner la préférence aux becs à large fente, dont la puissance lumineuse croît proportionnellement au débit.

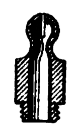


FIG. 97. — Bec fendu.

Avec des valeurs de m régulièrement croissantes pour une série de becs déterminés, l'effet utile augmente depuis les becs les moins puissants jusqu'à ceux pour lesquels m est voisin de 40; au delà de ce chiffre, il tend à diminuer.

Pour une valeur de Q déterminée, le bec qui aura le meilleur rendement lumineux sera celui qui nécessitera la plus faible pression h. On se trouve donc amené à employer les becs au-dessous de leur maximum d'effet utile. Le rendement et l'effet utile sont donc deux quantités différentes. Avec des brûleurs consommant 150 à 200 litres, on donne la préférence à l'effet utile.

Les becs papillon jouissent de la propriété de donner, pour des intensités moyennes, une hauteur de flamme sensiblement constante; la largeur seule augmente à raison de 1 centimètre par 20 0 0 d'accroissement de consommation; la surface de la flamme change fort peu.

La consommation horaire de ce genre de bec ne dépasse guère 450 litres, les meilleurs brûleurs donnent la bougie avec $9^{lit},13$. Pour des débits moyens, le plus avantageux est le brûleur 7/10 avec un diamètre de bouton de 7 millimètres; il donne la bougie avec 12 litres pour une consommation de 162 litres sous la pression de 3 millimètres. On lui préfère

cependant le bec 6/10, à cause de sa flamme plus résistante au vent, bien que le rendement soit légèrement inférieur.

Les becs papillon s'emploient, en effet, pour l'éclairage extérieur dans des lanternes et même en plein vent pour les illuminations. Ils sont avantageux dans le cas de gaz riches; on donne alors la préférence aux brûleurs ne débitant que 40 à 50 litres sous, 2 à 3 millimètres de pression.

On a essayé des becs à deux fentes parallèles, à trois fentes radiales ou encore à deux ou trois têtes; mais les résultats sont identiques aux précédents.

93. Bec manchester. — Le conduit d'amenée du gaz est fermé à sa partie supérieure (*fig.* 98) par un disque dans l'épaisseur duquel on a percé deux trous inclinés l'un sur l'autre. En s'échappant de ces trous, presque à angle droit, les veines gazeuses se heurtent et donnent une flamme plate analogue à celle du papillon.




Fig. 98.
Bec manchester.

Les observations précédentes s'appliquent également à ce brûleur.

Les trous inférieurs à 1 millimètre ont un rendement insuffisant qui équivaut à celui de deux becs bougies de cette dimension; mais, à mesure que le diamètre augmente, il y a amélioration.

Pour les consommations de 100 à 150 litres, le meilleur brûleur est celui de $1^{mm},5$; il donne la bougie avec $13^{lit},8$; de 150 à 200 litres, le brûleur adopté est celui de $1^{mm},75$ donnant la bougie avec $12^{lit},6$.

En augmentant, du reste, le débit, on se rapproche des résultats du bec fendu à fente large.

Le manchester se différencie du papillon par la constance de la largeur de sa flamme ; la hauteur seule augmente; de plus, il a l'avantage précieux de faire entendre un sifflement lorsque la pression est exagérée; la meilleure pression est comprise entre 3 et 7 millimètres.

Bien que son effet utile soit inférieur à celui du bec papillon, on le préfère lorsque les flammes doivent être entourées d'un globe en verre. Celui-ci, en effet, est bien moins sujet à se casser du fait de la largeur constante de la flamme,

quelles que soient les variations du débit. On ne s'en sert guère pour l'éclairage extérieur, car, outre son faible rendement, il est d'un entretien difficile.

Entre le bec papillon et le manchester, se placent quelques brûleurs spéciaux ayant l'apparence de l'un et les caractères de l'autre. Comme il s'agit, en effet, de l'écoulement par un ajutage assez complexe, il est facile de faire varier les conditions de l'échappement. On peut augmenter, par exemple, la section de la conduite avant l'orifice même, de manière à diminuer la vitesse : c'est le cas du *spar brenner* (*fig.* 99), dont

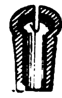


Fig. 99. — Spar brenner.



Fig. 100. — Manchester fendu.

le bouton a sa sphère évidée, de manière à avoir en tous ses points la même épaisseur. Cette disposition a, comme conséquence, un rendement plus élevé. On obtient la bougie-heure avec $11^{lit},5$ seulement. En outre, la largeur et la hauteur de flamme croissent avec le débit et, lorsqu'il devient trop fort, deux petites cornes se détachent sur le côté, avertissant ainsi de son mauvais fonctionnement.

Dans le *manchester fendu* (*fig.* 100), la section reste la même partout, la sphère n'est pas évidée; mais la fente est pratiquée suivant un grand cercle; il a l'aspect d'un papillon; cependant, il est caractérisé par la constance de la largeur de sa flamme; son nettoyage est plus facile que celui du manchester.

On peut encore changer les conditions d'écoulement en faisant varier la longueur de la fente, l'épaisseur du bouton, suivant l'axe ou sur le diamètre horizontal, de manière à modifier les conditions d'écoulement.

Tous les brûleurs précédents se font en fonte ou en stéatite qui n'est autre qu'un silicate de magnésie infusible. La stéatite, quoique assez fragile, convient à cet usage, car elle est mauvaise conductrice de la chaleur; de plus, elle ne

s'oxyde pas, d'où son entretien plus facile. Le nettoyage de ces becs, ou épinglage, consiste simplement à enlever les poussières qui obstruent les fentes ou les trous. Pour les rampes d'illuminations, on emploie quelquefois des brûleurs en bronze s'oxydant moins que la fonte. Le montage des becs se fait en les vissant sur la conduite d'arrivée du gaz; avec la stéatite, il faut ajouter un peu de mastic de céruse ou de plâtre pour empêcher les fuites.

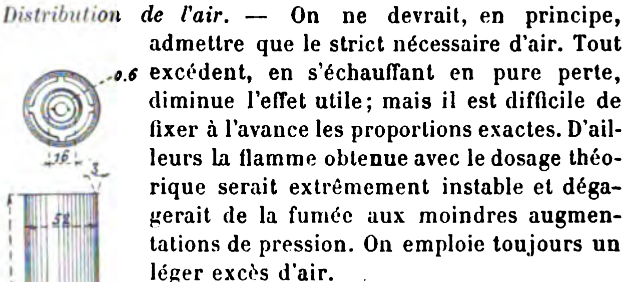
94. Becs à double courant d'air. — Ils sont constitués par une couronne cylindrique percée à sa partie supérieure d'une série de trous suffisamment rapprochés pour que tous les jets gazeux, en se réunissant, forment une seule nappe cylindrique. Le gaz est amené à la couronne au moyen de deux ou trois conduits partant d'un tronc commun. La flamme est entourée d'une cheminée cylindrique en verre qui augmente sa fixité en activant le tirage. L'air d'alimentation arrive par la partie inférieure de l'appareil et se divise en deux courants, l'un intérieur pénétrant dans le cylindre, l'autre extérieur qui s'élève entre la flamme et la cheminée. L'action du courant d'air extérieur a été accrue par l'addition d'un cône métallique qui dirige l'air sur la flamme. De plus, la couronne est munie à sa partie inférieure d'un cône renversé, ou panier, percé de trous pour tamiser l'air et le diviser en quelque sorte.

Le bon fonctionnement de ces appareils dépend du diamètre des trous, de leur nombre, de la distribution plus ou moins méthodique de l'air et enfin des dimensions de la cheminée.

Diamètre des trous. — Chaque trou joue le rôle d'un bec bougie; plus le diamètre est grand, meilleur est le rendement. Les diamètres les plus avantageux varient de 6/10 à 8/10 de millimètre pour les becs sans cône directeur, et de 10/10 à 15/10 pour ceux avec cône. A pouvoir éclairant égal, plus la densité du gaz est élevée, plus les trous du bec doivent être grands. Avec des dimensions de 6/10 à 8/10 de millimètre, on obtient la carcel-heure avec 105 litres de gaz. Le pouvoir éclairant croît avec la hauteur de flamme, et par

suite avec la consommation, mais plus vite que celle-ci, jusqu'à une limite fixe de 10 à 12 centimètres, au delà de laquelle la flamme se met à fumer.

Nombre de trous. — Il doit être aussi grand que possible. Si les trous sont trop espacés, l'air pénètre entre deux jets, la combustion est trop active et le pouvoir éclairant diminue. C'est pour cette raison que le bec à 30 jets est supérieur de 25 0/0 à celui de 20. On est même arrivé, dans cet ordre d'idées, à n'avoir qu'une fente dont la largeur la plus convenable est de 6/10 à 7/10 de millimètre.



Distribution de l'air. — On ne devrait, en principe, admettre que le strict nécessaire d'air. Tout excédent, en s'échauffant en pure perte, diminue l'effet utile; mais il est difficile de fixer à l'avance les proportions exactes. D'ailleurs la flamme obtenue avec le dosage théorique serait extrêmement instable et dégagerait de la fumée aux moindres augmentations de pression. On emploie toujours un léger excès d'air.

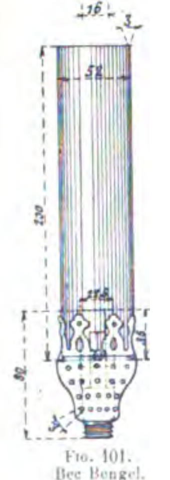


Fig. 101. Bec Bengel.

Dans le brûleur primitif, le panier était formé par une sorte de treillis métallique entourant tout le bec; on a divisé ensuite le panier en deux parties alimentant respectivement chaque courant. Avec un dosage établi sur ce principe, on arrive, comme dans le bec Elster, à obtenir la carcel-heure avec 85 litres de gaz. Les paniers se font en cuivre à fentes longitudinales ou en porcelaine percée de trous. Le bec Bengel, qui sert d'étalon de lumière, est établi avec un panier en porcelaine; il n'y a pas de cône directeur; les trous, au nombre de 30, ont 6/10 de millimètre; les autres dimensions sont indiquées sur la figure 101. Il donne la carcel avec 105 litres.

Quant au cône directeur, dont l'emploi n'est pas général, il sert à diriger l'air sur la flamme et correspond au coude des

cheminées en verre. Il achève la combustion au détriment, il est vrai, du rendement lumineux, qu'il réduit de 5 0/0 environ; mais cette perte est compensée par une plus grande régularité de la lumière.

Cheminée. — Le tirage est fonction de la hauteur de la cheminée ; il ne faut pas exagérer cette hauteur; on admet généralement 0^m,20. Comme pour tous les modes d'éclairage, le diamètre doit être aussi réduit que possible ; mais sa valeur est limitée par le diamètre du brûleur et l'échauffement considérable du gaz. On a essayé, avec succès, de diminuer la section en rétrécissant le verre dans le haut ou en plaçant un obturateur sur la cheminée. Le prix plus élevé des cheminées étranglées et la chute fréquente de l'obturation ont fait abandonner ces deux systèmes.

Les becs les plus employés ont la couronne en stéatite ou en porcelaine; le panier se fait indifféremment en porcelaine, verre ou métal. Dans un modèle assez répandu, le bec *Albert* (*fig.* 102), le panier a été supprimé; l'air arrive directement à la flamme, condition défavorable à un bon rendement, le cône directeur a été conservé. Le gaz est amené à la couronne par trois branches en arc de cercle dégageant le courant intérieur. Les trous, au nombre de 40, ont 1 millimètre de diamètre. Comme complément de l'appareil, sur le tube d'arrivée du gaz se trouve un obturateur muni d'une tige de manœuvre assez longue, de manière à pouvoir mettre le brûleur en veilleuse.

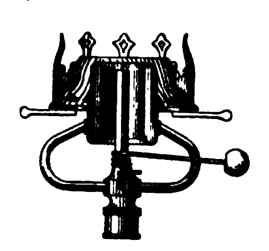


Fig. 102. — Bec Albert.

Les brûleurs à cheminée conviennent plus particulièrement pour l'éclairage intérieur; leur lumière est très fixe et très régulière, bien qu'ils soient sensibles aux variations de pression.

95. Brûleurs intensifs à air froid. — Pour lutter contre la puissance des foyers électriques, la première idée fut de

grouper plusieurs becs ordinaires sur un même appareil. On est arrivé ainsi au brûleur dit du Quatre-Septembre et au bec Sugg.

Le premier (*fig.* 103) est formé par le groupement, sur une couronne D de 0,16 de diamètre, de six becs fendus n° 6, consommant 235 litres, disposés de manière à présenter le plan de leur flamme tangentiellement à cette couronne. Deux coupes en cristal E, E′ entourent ces becs et divisent le courant d'air en deux parties. Pour préserver la coupe intérieure de la chaleur, on la munit d'un cercle en mica. Le gaz arrivant au centre est distribué par des conduites radiales aux papillons.

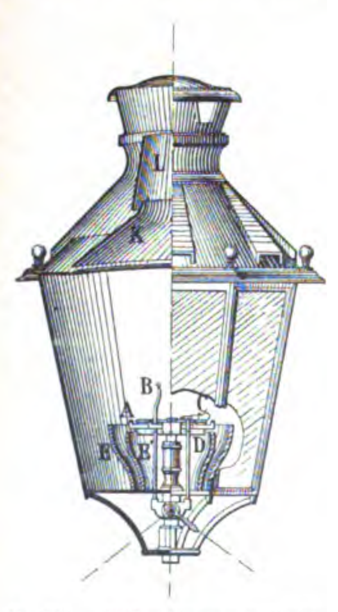


FIG. 103. — Brûleur du Quatre-Septembre.

L'appareil se complète d'une veilleuse C qui sert à allumer les autres brûleurs, et d'un brûleur B dit bec de minuit, qui remplace les autres becs lorsqu'on veut réduire l'éclairage. Ces différents becs ne s'allument qu'à tour de rôle au moyen d'un robinet à trois voies. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne, munie dans le haut d'une cheminée en porcelaine K formant réflecteur et surmontée d'une autre cheminée en tôle ou en porcelaine L. Il y a deux types de brûleurs, l'un de 1.400 litres, l'autre de 875, donnant 130 et 90 bougies sur l'horizontale.

Le bec *Sugg* est formé par un brûleur à double courant d'air et à cheminée. On a construit des becs Sugg à deux ou trois couronnes concentriques, de manière à réduire le volume du bec, tout en conservant l'intensité; le régime est le

même que le précédent, l'absorption de lumière par les flammes étant insignifiante.

Les becs intensifs à air libre sont recommandables par leur grande simplicité ; par contre, ils sont peu économiques ; ils tendent à disparaître depuis l'apparition des brûleurs à incandescence.

96. Rendement des brûleurs à air libre. — Le tableau suivant indique la consommation de ces appareils et leur rendement.

NATURE DES BECS		CONSOMMATION HORAIRE	CONSOMMATION par BOUGIE DÉCIMALE	par CARCEL-HEURE
		litres		
Bec bougie	2mm	35	16	»
	1,50	45	22	»
Bec manchester	1,75	150 à 200	12 à 13	126
	1,50	100 à 150	15 à 14	137
	1	100 à 150	16 à 19	164
Bec papillon	0,70	120 à 150	12	120
	0,60	120 à 140	12 à 13	125
	0,50	100 à 150	13 à 14	127
Bec rond	32 jets	220	9,6	92
	40	150 à 200	10	105
	30	100 à 155	10	105
	20	100 à 155	13	126
Brûleur intensif	6 papillons de 0,60	875	10 à 11	105
		1.400	9 à 10	95

N. B. — Le bec à 32 jets est à 4 tubes d'amenée du gaz avec cheminée de 0,25.

§ 2. — BRULEURS A AIR CHAUD

97. Principe de la récupération. — Les corps combustibles ne s'enflamment qu'après avoir été portés à une certaine température, ce qui explique que, pour enflammer le gaz, il faut le mettre en contact avec un corps au moins

à 500°. Une fois en marche, c'est la flamme qui fournit la chaleur nécessaire ; il en résulte pour cette dernière un abaissement de température qui diminue d'autant le pouvoir éclairant. Or, si on considère que, d'autre part, l'éclat lumineux est fonction exponentielle du degré de chaleur, on aura non seulement intérêt à éviter les pertés, mais encore à augmenter tout le calorique disponible.

C'est dans ce but qu'on a imaginé de chauffer, au préalable, l'air ou le gaz ou même les deux, en utilisant à cet effet les chaleurs emportées par les produits de la combustion. Comme il faut 5,5 volumes d'air pour obtenir la combustion de 1 volume de gaz, on se trouve amené à chauffer plus particulièrement l'air pour rendre le chauffage appréciable.

D'ailleurs, si on portait le gaz à des températures élevées, on courrait le risque de décomposer les hydrocarbures les moins fixes, et le carbone ainsi mis en liberté se déposerait sous forme de suie avant d'arriver à la flamme, encrassant les conduits et faisant perdre au gaz une partie de son pouvoir éclairant.

Sainte-Claire Deville a montré qu'il suffisait de porter l'air à 500° pour doubler la puissance lumineuse du gaz ; au-dessus de cette température, toute élévation de 10 0/0 de chaleur donne une augmentation de 20 0/0 de lumière. Le réchauffage de l'air doit se faire méthodiquement, c'est-à-dire que la circulation de l'air et des produits de la combustion doit se faire en sens inverse, de manière à mettre l'air froid en contact avec des fumées déjà refroidies et inversement. La rencontre du gaz et de l'air a lieu à angle droit pour obtenir un mélange parfait.

Le nombre des appareils de ce groupe est très considérable, mais ils ont perdu de leur importance depuis l'apparition des brûleurs à incandescence.

98. Foyers Siemens. — Il y en a eu plusieurs modèles. Dans le système primitif (*fig.* 104), établi en 1879, l'appareil se compose de trois chambres concentriques. Une, A, d'arrivée du gaz d'où il s'échappe ensuite dans une série de tubes verticaux *m*, dont l'ensemble constitue le brûleur. La flamme

produite à l'extrémité des tubes entoure une rondelle en porcelaine, et, se renversant de haut en bas, pénètre dans la chambre B qui rassemble les produits de la combustion pour les évacuer ensuite par la cheminée latérale G. Quant à l'air comburant, il pénètre dans la troisième chambre C, où il se

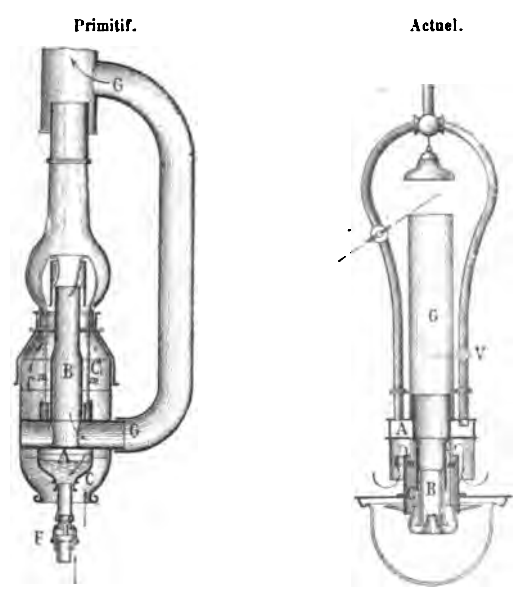


Fig. 104. — Foyers Siemens.

trouve porté à 500° environ au contact des parois de B chauffées au rouge.

Enfin, une cheminée en verre de forme ovoïde protège la flamme contre l'air extérieur et un rhéomètre F sert à assurer la constance du débit. Le rendement de cet appareil est déjà satisfaisant. Un brûleur à 32 tubes, consommant 1.600 litres à l'heure, donne 46 à 48 carcels, soit 33 à 35 litres par carcel-heure, c'est-à-dire plus du tiers d'économie sur les brûleurs précédents.

Ce système, assez disgracieux, a dû être remplacé par un

autre basé sur le même principe, mais donnant la flamme en dessous ; le gaz arrive de haut en bas, débouchant dans une chambre A, d'où il est distribué à une série de tubes *m* formant couronne. La flamme est aspirée dans la cheminée B prolongée par une partie en tôle G. L'air froid pris à l'extérieur pénètre dans la chambre C parallèlement au gaz et en sens inverse des fumées. La flamme est enfermée dans une coupe en verre ; un réflecteur renvoie la lumière sur le plan horizontal à éclairer. La consommation des divers modèles varie de 320 à 1.245 litres. On obtient la carcel avec 35 litres. L'allumage se fait sans déplacer la coupe, au moyen d'une veilleuse V.

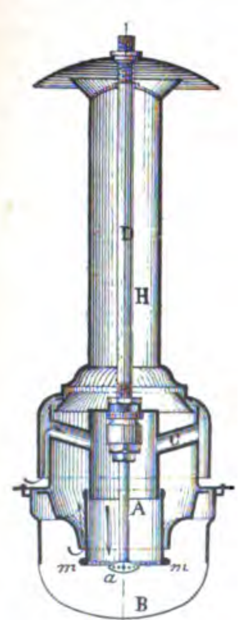


FIG. 105. — Lampe Wenham.

99. Lampe Wenham. — C'est un des plus anciens appareils à récupération (1882) ; il a subi plusieurs transformations. Dans le type actuel (*fig.* 105), le gaz, amené de haut en bas par une tige D, est distribué horizontalement par un bouton en stéatite *a*. Une cheminée en tôle H, entourant le tube d'alimentation, dirige la flamme renversée de l'intérieur vers l'extérieur.

L'air arrive perpendiculairement au brûleur dans une chambre de combustion A, après avoir traversé une série de carneaux inclinés C disposés radialement autour de la chambre A. Cette dernière est venue de fonte avec les conduits C, ce qui donne à l'appareil une très grande résistance. Les gaz de la combustion, avant de s'élever dans la cheminée H, chauffent par convection le récupérateur, qui transmet de la même façon une partie de sa chaleur à l'air froid. Pour empêcher toute combustion dans A, une toile métallique l'isole de la flamme ; de même, une couronne en porcelaine *mm* préserve la fonte du récupérateur du contact immé-

diat de la flamme. Comme on doit éviter toute rentrée directe d'air froid, la combustion a lieu dans une verrine B retenue par un cercle métallique horizontal mobile autour d'une charnière. Le déplacement de la verrine pour l'allumage est un inconvénient; il est vrai qu'on l'évite par l'emploi de verrines perforées à leur partie basse et contenant une bille en verre qui ferme l'orifice. Il suffit de pousser la bille avec l'allumoir pour approcher ce dernier du brûleur *a*.

Le nettoyage de la lampe est très facile : pour enlever le graphite, qui ne tarde pas à se former dans le tube D, par suite du chauffage du gaz, il suffit de dévisser le bouton *a* et de passer une tige rigide à l'intérieur.

Il y a plusieurs séries de ces brûleurs consommant depuis 140 litres jusqu'à 900. L'apparition de ce brûleur a fait comprendre la nécessité de prendre l'intensité lumineuse sous différents angles; l'intensité horizontale étant la plus faible, une lampe de 440 litres de consommation donne, à 45°, $10^{carc},8$ et, sur la verticale, $13^{c},92$, soit une consommation moyenne de 35 litres par carcel-heure.

L'éclairage en dessous, que ne gêne aucune ombre portée, est très avantageux à l'intérieur des habitations, surtout quand les points à éclairer restent fixes; par contre, il a l'inconvénient de laisser les plafonds dans l'obscurité.

La lampe Wenham est souvent utilisée pour la ventilation des locaux en même temps que pour leur éclairage. On comprend aisément qu'en faisant déboucher la cheminée H à l'extérieur, il se fera un appel d'air énergique dans la pièce.

Pour que la ventilation soit efficace, il faut que les conduits d'écoulement aient sensiblement une section triple de celle de la cheminée.

Nous signalerons pour mémoire quelques lampes à récupération dérivées de la lampe Wenham : lampe Rouennaise, lampe Danischewski, Cromartie, etc.

Le tableau ci-dessous résume une série d'expériences faites à l'Exposition de 1889, sur quelques types de lampes à récupération. Les valeurs qui y sont portées, pour la consommation horaire par carcel, permettent d'apprécier le

progrès accompli depuis l'apparition des appareils employant le manchon à incandescence d'Auer.

DÉSIGNATION des BRULEURS	DÉPENSE HORAIRE EN LITRES DE GAZ	INTENSITÉ MAXIMA	INTENSITÉ SPHÉRIQUE MOYENNE	CONSOMMATION PAR CARCEL pour l'intensité SPHÉRIQUE MOYENNE	INCLINAISON du rayon LE PLUS INTENSE
Bengel photométrique...	105	1,165	0,945	111	15°
Venham-Etoile..........	166	3,007	1,590	100	30
Cromartie petit modèle..	88	1,53	0,84	103	45
— moyen modèle	126	2,594	1,50	80	60
Bandsept..............	120	1,638	1,11	108	30
Danischewski..........	162	2,715	1,75	92	45
Lebrun-Deselle..........	155	2,733	1,48	104	60

100. Foyer Parisien. — Les lampes du type Wenham et similaires, qui viennent d'être décrites, conviennent plus particulièrement à l'éclairage des locaux fermés, car la lumière qu'elles fournissent a son intensité maxima dans une direction voisine de la verticale. Pour l'éclairage public, il convient que les radiations les plus intenses soient, au contraire, voisines de l'horizontale, afin d'assurer l'éclairement sensiblement uniforme de l'intervalle compris entre deux foyers. Il faut, en outre, que les appareils destinés à l'éclairage de la voie publique satisfassent à certaines conditions; ils doivent notamment être d'une construction robuste, permettant aux organes de supporter sans déformation les effets d'un régime de fonctionnement très étendu, être insensibles à l'action des vents les plus violents et, enfin, être d'un entretien peu onéreux.

Le premier appareil remplissant les desiderata ci-dessus a été le foyer construit par Schülke, de Vienne, en 1882. Dans le modèle primitif, le gaz était distribué du haut en bas à cinq ou six papillons groupés sur un même cercle. Une cheminée en tôle plissée entourait le tube de descente; autour de cette cheminée, était disposé un deuxième cylindre, l'air circulant entre les deux cheminées s'échauf-

fait au contact des plis de la première dans laquelle s'échappaient les produits de la combustion. Cette dernière s'opérait dans une coupe en verre qui entourait les papillons. Pour ne pas toucher à la coupe pour l'allumage, attendu que

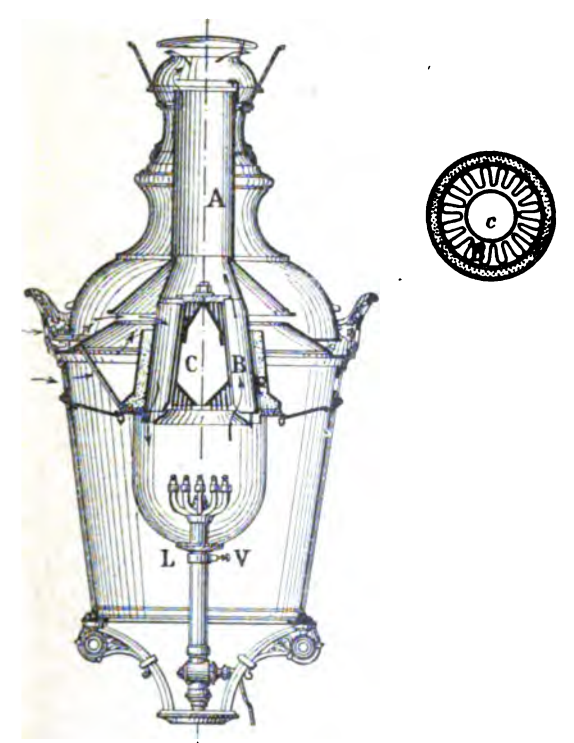


Fig. 106. — Foyer Parisien.

tout l'appareil était enfermé dans une lanterne, M. Schülke avait disposé à l'intérieur une veilleuse constamment allumée et alimentée par un conduit spécial.

C'est de cet appareil lourd et volumineux qu'a été tiré le foyer « Parisien » créé en 1886 et mis à l'essai pour la première fois, à Paris, en 1888. L'arrivée du gaz a lieu de

bas en haut, aux becs papillon en stéatite disposés en cercle, sur un chandelier ordinaire, autour d'un bec de minuit. Les flammes sont inclinées sur la circonférence de manière à les empêcher de se toucher et, par suite, de filer. L'ensemble des papillons est enfermé dans une coupe en verre cylindrosphérique (*fig.* 106).

Quant au récupérateur, il est formé par une cheminée en nickel B, tronconique et plissée, dont l'intérieur est occupé par un obturateur C, également en nickel, qui rejette les gaz de la combustion contre les parois de B. Ce récupérateur, protégé par une enveloppe en amiante F, se trouve prolongé par une cheminée A. Deux séries d'ouvertures sont ménagées pour l'alimentation d'air froid, dont une partie va aux papillons en s'échauffant le long du récupérateur, et l'autre est aspirée dans la cheminée.

On évalue à 500° la température de l'air chaud. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne ronde à chapiteau élevé avec les orifices nécessaires pour l'introduction de l'air et la sortie des gaz brûlés.

Outre le bec de minuit, il y a une veilleuse servant à l'allumage. Comme dans le bec du Quatre-Septembre, suivant la position donnée à la clé, on met en service la veilleuse, les papillons ou le bec de minuit.

La visite intérieure de la lampe doit pouvoir se faire assez fréquemment, soit pour remplacer l'obturateur, soit pour épingler les papillons. Dans ce but, on descend la verrine, qui coulisse au moyen d'une garniture L, le long du chandelier; elle est maintenue par une vis V; de l'amiante rend le joint étanche.

DÉBIT HORAIRE EN LITRES	INTENSITÉ HORIZONTALE	DÉPENSE PAR CARCEL-HEURE
	carcels	litres
225	2,4	93,0
350	5,43	64,9
550	9,45	59,1
750	14,76	53,05
1.000	19,41	51,05

L'importance du foyer dépend du nombre des papillons employés; mais les fortes consommations sont encore les plus avantageuses, comme l'indique le tableau précédent.

101. Foyer Industriel. — Dans cet appareil, créé en 1888, par MM. Lacaze et Cordier, le récupérateur est formé par deux cylindres concentriques verticaux reliés par des tubes horizontaux disposés en étoiles superposées les unes au-dessus des autres et groupées de façon à croiser leurs rayons d'une rangée à l'autre. Les gaz de la combustion circulent à l'intérieur de ces conduits avant de se rendre à la cheminée; l'air, au contraire, passe tout autour, s'échauffant par convection. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne ordinaire. Des prises d'air sont ménagées sur le corps de cette dernière et sur le chapiteau; au lieu d'arriver directement au récupérateur, l'air circule autour d'une enveloppe en cuivre. Comme dans le bec Parisien, à l'intérieur de la lanterne on dispose un diaphragme servant de réflecteur. Dans le dernier modèle, le bec de minuit et la veilleuse ne font plus qu'un, et la différence de flammes s'obtient au moyen de deux vis de réglage placées au-dessus du robinet (*fig.* 107).

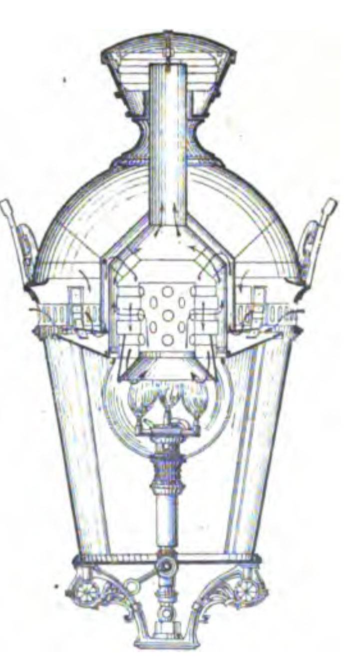


Fig. 107. — Foyer Industriel.

Le bec Industriel comprend des types de débit horaire de 350, 450, 550, 750, 1.000 et 1.200 litres.

Au point de vue du rendement, les résultats sont iden-

tiques à ceux du foyer Parisien. Le foyer, de 1.200 litres, donne 25 carcels.

Le foyer Industriel a été aménagé de manière à pouvoir servir également à l'éclairage intérieur; dans ce modèle spécial, la lanterne a été supprimée et remplacée par un réflecteur.

102. **Dérivés des foyers Parisien et Industriel.** — Il existe un assez grand nombre d'autres foyers basés sur le même principe et différant des précédents par la disposition du récupérateur.

Dans le foyer *Moderne*, il est constitué par une série de tubes ovoïdes recevant l'air à réchauffer; autour d'eux circulent les produits de la combustion.

Celui du foyer *Mortimer-Sterling* est formé par un cylindre vertical muni d'ailettes radiales faisant saillie des deux côtés; les produits de la combustion circulent à l'intérieur du cylindre, portant au rouge les lames correspondantes. Par conductibilité, la chaleur se propage aux lames extérieures et réchauffe l'air comburant. Le récupérateur est en nickel, sans soudure, ce qui augmente sa résistance et rend son entretien peu onéreux.

Ce foyer est construit pour des débits de 140, 260, 430, 550, 1.000 et 1.200 litres. Son rendement lumineux est le même que celui des appareils précédents.

Les brûleurs qui viennent d'être décrits tendent à disparaître complètement pour être remplacés par les appareils à incandescence. Ces derniers appareils sont, en effet, d'un prix beaucoup moins coûteux que les appareils à récupération; de plus, leur rendement lumineux est quatre à cinq fois plus élevé.

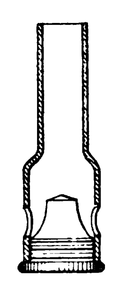
L'emploi des anciens becs à air libre ou à récupération ne semble plus légitimé maintenant que dans les localités où le prix du gaz est extrêmement bas, sinon nul.

§ 3. — Généralités sur l'incandescence

103. **Brûleur bunsen.** — Quand on brûle du gaz préalablement mélangé avec une certaine quantité d'air, le pouvoir

lumineux de la flamme obtenue se trouve amoindri; la couleur de cette flamme se modifie également : elle devient bleuâtre, presque incolore. Sa température est très élevée et aucun dépôt de noir de fumée ne se manifeste sur les corps froids qui y sont plongés. L'énergie de la combustion est transformée presque tout entière en chaleur. Ce phénomène de désillumination de la flamme, qui est attribué surtout à l'azote de l'air, est singulièrement mis en évidence quand on brûle du gaz dans un appareil bunsen.

Le brûleur *bunsen* se compose (*fig.* 108) d'un cylindre métallique, recevant le gaz à la partie inférieure à l'aide d'un ajutage conique (ou *éjecteur*) au niveau duquel se trouvent percés, dans la paroi du cylindre, deux ou trois trous d'entrée d'air qui peuvent être plus ou moins obturés à l'aide d'une virole mobile, glissant à frottement doux sur la paroi extérieure du cylindre. L'échappement du gaz par l'éjecteur provoque une aspiration de l'air affluant par les trous du cylindre; il se produit ainsi, dans le cylindre, un mélange d'air et de gaz plus ou moins parfait, très variable en proportion. Ce mélange étant allumé à l'orifice libre du cylindre produit une flamme incolore.


Fig. 108.
Brûleur bunsen.

L'aspect de la flamme est, d'ailleurs, extrêmement variable, suivant le dosage de l'air et du gaz formant le mélange comburant. Dans le bunsen ordinaire, la zone intérieure de la flamme est bleu violacé; si on augmente l'admission d'air, la flamme devient plus chaude, la zone intérieure prend une coloration verte; à ces changements de coloration correspondent, d'ailleurs, des variations de température très sensibles; le maximum de cette température correspond à la limite explosive du mélange d'air et de gaz introduit dans le cylindre.

D'après Truchot, les températures observées dans la flamme d'un bunsen ordinaire seraient les suivantes :

PARTIES DE LA FLAMME	CONE BLEU	CONE VERT
Pointe du cône intérieur.....	1090°	1575°
Centre — extérieur.....	1533	1630
Pointe — extérieur.....	1175	1545
Bords du cône extérieur à hauteur du cône intérieur.......	1333	1511

Le rapport entre les quantités de gaz et d'air aspiré est, dans le cône bleu, d'environ 2,27, et dans le cône vert 3,37. L'air aspiré par le gaz sortant de l'éjecteur n'intervient pas seul pour provoquer la combustion du gaz, puisque ce phénomène exige théoriquement, pour être complet, 5,5 volumes d'air pour 1 de gaz ; le complément d'air est donc fourni par l'air entourant la flamme ; on en conclut que plus la quantité d'air fournie par aspiration est faible, plus l'afflux d'air ambiant doit être élevé.

Cependant, comme la flamme doit chauffer non seulement l'oxygène nécessaire à la combustion, mais encore l'azote qui le dilue, il est clair que plus la quantité d'air fournie extérieurement sera faible, plus la température de la flamme sera élevée.

Il y a, dès lors, intérêt, si on veut obtenir une haute température à la surface extérieure de la flamme, d'activer l'aspiration de l'air dans la chambre de mélange du bunsen : il y a cependant une limite qu'il convient de ne pas dépasser, si on veut éviter qu'un excès ne refroidisse la flamme.

La perte du pouvoir éclairant de la flamme est également causée par l'influence de l'azote contenu dans l'air. Cette opinion s'appuie sur les observations de Lewes, Blochmann, Heumann, Knapp et autres. Des expériences faites avec un bunsen, auquel aboutissaient deux alimentations commandées par des compteurs spéciaux, ont prouvé : que la quantité d'air nécessaire pour enlever le pouvoir éclairant à la flamme était de 13,5 volumes d'air pour 6 volumes de gaz. Or les 13,5 volumes d'air contenant 2,7 volumes d'oxygène et 10,8 d'azote, on fit brûler ensuite 6 volumes de gaz avec 10,8 d'azote ; la flamme n'était plus que très légèrement lumineuse à sa pointe ;

enfin, en brûlant 6 volumes de gaz avec 2,7 d'oxygène, on obtenait une flamme lumineuse. La suppression complète du pouvoir lumineux fut assurée en brûlant 6,2 volumes de gaz avec 14,2 d'azote pur.

Le tableau ci-après énumère quelques essais effectués en vue de détruire la luminosité de la flamme du gaz par un mélange d'azote et d'oxygène en proportions variables :

VOLUME DU MÉLANGE POUR 1 DE GAZ	PROPORTIONS DU MÉLANGE	
	AZOTE	OXYGÈNE
2,30	2,30	0
2,30	1,92	0,38
2,27	1,82	0,45
2,00	1,50	0,50
1,49	0,99	0,50
1,00	0,50	0,50
0,50	0	0,50

Ce tableau permet de constater que, si la proportion d'oxygène est inférieure à celle de l'atmosphère (20 0/0 environ), l'influence diluante de l'azote est suffisante pour empêcher l'oxygène de produire un effet sensible dans la destruction du pouvoir éclairant ; mais, dès que la proportion d'oxygène dépasse 20 à 25 0/0, les rôles sont intervertis, l'azote est sans influence sur le pouvoir éclairant.

On peut d'ailleurs rendre la flamme incolore en mélangeant le gaz d'éclairage à d'autres composés gazeux, même inertes. Le tableau suivant, dû à Lewes, donne les volumes de ces gaz nécessaires pour détruire le pouvoir éclairant de 1 volume de gaz de houille.

GAZ	VOLUMES pour 1 DE GAZ	CHALEUR SPÉCIFIQUE	TEMPÉRATURES	
			au centre du cône EXTÉRIEUR	au sommet du cône INTÉRIEUR
Oxygène	0,50	0,2405		
Acide carbonique	1,26	0,3307	770°	393°
Air	2,27	0,2370	1533	1000
Azote	2,30	0,2374	999	444
Oxyde de carbone	5,11	0,2370		
Hydrogène	12,40	0,2359		

D'autre part, Heumann a montré qu'une flamme éclairante étalée sur une surface froide perdait son pouvoir lumineux, mais que le pouvoir éclairant pouvait être rétabli en chauffant la surface en contact.

Cette observation, rapprochée de l'examen du tableau ci-dessus, conduit aux conclusions suivantes :

1° La perte du pouvoir éclairant n'est pas due seulement à l'oxydation du carbone de la flamme par l'oxygène de l'air;

2° Un diluant combustible doit être employé en proportions plus grandes qu'un diluant inerte;

3° Un diluant, ayant le pouvoir d'absorber plus de chaleur de la flamme qu'un autre, sera plus actif pour la réduction du pouvoir éclairant (exemple : l'acide carbonique). Les diluants abaissent d'ailleurs notablement la température de la flamme.

En résumé, l'oxydation, la dilution et le refroidissement contribuent à la destruction du pouvoir éclairant.

Il faut remarquer que les chiffres portés au tableau ne conviendraient pas pour un gaz riche; dans le cas d'un gaz d'huile, par exemple, il faut plus d'air que d'azote.

Les conditions de fonctionnement d'un brûleur bunsen diffèrent sensiblement de celles des becs papillon et Argand : tandis que ceux-ci brûlent avantageusement le gaz sous une très faible pression, 3 ou 4 millimètres d'eau, le premier exige une pression beaucoup plus élevée, de 15 à 50 millimètres suivant le modèle, afin que le gaz arrive à l'éjecteur avec une vitesse suffisante pour aspirer l'air. Il est à noter d'ail-

leurs à ce propos que la section des trous d'admission d'air d'un bunsen, ou leur position par rapport au niveau de l'éjecteur, varie suivant la pression et la densité du gaz employé.

Si on place un corps solide dans la flamme particulièrement chaude émise par un brûleur bunsen, il se trouvera fortement chauffé et pourra émettre des radiations lumineuses dont la couleur et l'intensité dépendront de la nature du corps, de son degré de température et du milieu qui l'entoure ; c'est le principe de l'éclairage par incandescence.

104. Historique de l'incandescence. — Un grand nombre de corps solides, chauffés à une température suffisante, deviennent incandescents ; mais très peu sont susceptibles de produire une lumière économique. Les premières tentatives d'éclairage par l'incandescence des corps solides remontent à 1826, époque à laquelle Drummond eut l'idée de chauffer un fragment de chaux à l'aide d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène, — la lumière Drummond est employée aujourd'hui encore très fréquemment pour les projections lumineuses (Voir n° 120). — En 1839, Cruikshank trempait dans une flamme un cône formé par un treillis de platine recouvert d'une pâte d'oxydes terreux. — Frankenstein, en 1849, plaçait dans la flamme un corps qu'il appelait multiplicateur de lumière, dont il précisait ainsi la préparation :

« On commence par prendre un morceau de tissu lâche (tulle de gaze), puis on prépare une bouillie peu épaisse avec parties égales de craie finement broyée, de magnésie calcinée et d'eau, et on manipule le tissu dans cette bouillie jusqu'à ce qu'il en soit bien pénétré. Toutefois, il faut avoir soin que le tissu ne soit pas trop fatigué par cette opération, et se rappeler qu'on ne doit pas faire la bouillie trop épaisse pour que les mailles du tissu en soient obstruées, mais qu'elles conservent, au contraire, autant que possible, leur caractère et leur état.

« Une demi-heure environ après que le tissu a été introduit dans la bouillie, on l'en retire, on l'exprime et on le laisse sécher, soit à l'air, soit à l'étuve. Le tissu étant sec, on le

passe encore une fois dans une bouillie composée en parties égales de craie, de magnésie et une quantité suffisante d'eau, pour former un liquide un peu épais, ayant la consistance de l'huile. On ajoute, pour 50 parties de craie et de magnésie employées, 20 parties de gomme arabique et un peu de noir de fumée, ce dernier en quantité suffisante pour qu'après le séchage, la bouillie prenne une couleur noir grisâtre. Le tissu, immergé et imprégné à plusieurs reprises dans la bouillie, est ensuite exprimé, séché ou calandré. Cela fait, on se procure un certain nombre de petits cônes tournés, en bois, qui ont exactement la forme du bec de la lampe, mais sont à peu près de 12 à 15 centimètres plus longs. Sur ces moules en bois, on façonne de petites enveloppes de papier, collées sur les bords, et qui ont, par conséquent, la forme de cônes creux. On imbibe ces cônes à plusieurs reprises avec de l'huile, puis, aussitôt que ce liquide a pénétré dans le papier, on les étend sur les moules. Cela fait, on découpe le tissu préparé en morceaux ayant la forme d'un trapèze ; on procède, alors, ainsi qu'il suit pour préparer le multiplicateur :

« On enduit les bords du morceau découpé du tissu, jusqu'à une largeur de 3 à 4 millimètres, avec une dissolution de gomme arabique ; le morceau est ensuite plié sur le papier qui recouvre le moule conique, de façon que les bords enduits de gomme chevauchent l'un sur l'autre. Quand ceci est terminé, on enlève le cône en papier avec le multiplicateur qu'il porte, et on le laisse sécher afin de pouvoir le débarrasser du papier ; puis, après avoir allumé la lampe, le multiplicateur est introduit à l'aide d'un dispositif particulier dans la capacité de la flamme, dont il doit être entouré complètement. Le tissu est promptement charbonné ; au bout de quelque temps, le charbon brûle et les oxydes terreux restent seuls sous la forme du tissu primitif ; le cône ne tarde pas à devenir rouge blanc intense. »

Il nous a paru intéressant de rappeler ce procédé, qui date de 1849, en raison de l'analogie qu'il présente avec le procédé Auer. A la même époque, d'ailleurs, Robert Werner, de Leipzig, décrivait également une méthode de fabrication de brûleurs incandescents, par l'imprégnation d'un tissu de

gaze au moyen d'une bouillie de craie pulvérisée et de chlorure de sodium.

En 1869, Tessié du Motay et Maréchal firent sur la place de l'Hôtel-de-Ville, à Paris, un essai de la lumière dite oxhydrique, qui n'était, en vérité, que la lumière de Drummond ; seulement, au lieu de projeter le gaz (qui était de houille ordinaire et d'oxygène), sur un bâton de chaux, la projection avait lieu sur un crayon cylindrique en magnésie comprimée du système du commandant Caron, ou même en zircone.

Le gaz oxygène, qui servit pendant près d'un mois à l'éclairage de la place de l'Hôtel-de-Ville, était fabriqué dans une cave des environs et recueilli dans un gazomètre servant à alimenter les becs. Ce gaz était préparé par la décomposition, au rouge sombre, du manganate de soude, qui dégage de l'oxygène en passant à l'état de sesquioxyde et de soude hydratée, sous l'influence d'un courant de vapeur d'eau surchauffée. Le manganate de soude était ensuite régénéré par l'action d'un courant d'air injecté mécaniquement. Le gaz oxygène était mélangé au bec même avec le gaz de houille pris dans la canalisation. La pression d'écoulement des gaz au brûleur était de 60 millimètres d'eau pour le gaz de houille, et 70 pour l'oxygène. Les crayons de magnésie étaient très rapidement usés.

En 1868, Wiesnegg et Bourbouze utilisèrent le bec bunsen pour brûler un mélange d'air et de gaz d'éclairage comprimés à 1/2 atmosphère ; l'orifice du bunsen était coiffé d'une calotte formée par des fils de platine ; parfois un cône de magnésie était placé au centre de cette calotte en vue d'exalter le pouvoir lumineux du système ; on obtenait alors la carcel-heure avec une consommation de 80 à 100 litres.

La lumière obtenue s'affaiblissait assez rapidement par suite de la formation de carbures métalliques à la surface du platine.

Edison fit breveter, en 1878, un bloc incandescent formé d'une corbeille de fils de platine recouverts d'oxydes à grand pouvoir éclairant, notamment l'oxyde de cérium et l'oxyde de zirconium. En 1880, Clamond préconise une corbeille en magnésie alliée à 20 0/0 de zircone et disposée sur un brûleur à

double courant d'air (*fig.* 109); l'air s'échauffait entre la cheminée et une coupe en verre extérieure de faible hauteur; mais les filaments très fragiles se détachaient fréquemment; il en résultait une diminution de la surface éclairante : on obtenait la carcel-heure avec une dépense de 80 litres, et la durée du panier incandescent n'était guère supérieure à quatre-vingts heures; le bec à double courant d'air fut, par la suite, remplacé par de petits bunsens.

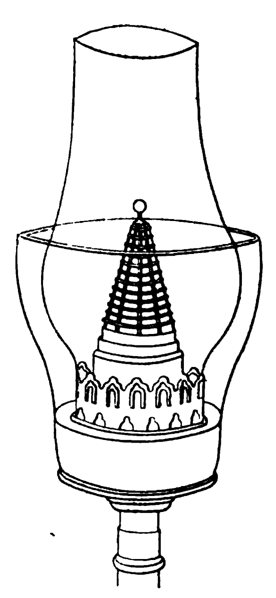


Fig. 109. — Foyer Clamond.

En 1882, Lake prit un brevet pour un nouveau mode d'éclairage qu'il appelait thermo-bougie. Bien que l'exposé de sa revendication soit assez maladroitement présenté, il est difficile de n'y pas voir une grande analogie de principe avec le procédé qu'Auer fit breveter postérieurement.

Lake recommande en effet, pour la confection de son appareil, l'emploi des oxydes rares, tels que le zircone, et l'imprégnation de tissus végétaux à l'aide de solutions métalliques.

Le défaut de tous ces corps incandescents, notamment les paniers de magnésie, bâtons de craie, cônes de platine, de zircone, était de présenter une masse trop grande rendant très difficile l'élévation de température propre à donner les radiations lumineuses.

Le problème de l'éclairage économique par incandescence n'a été véritablement résolu qu'à la suite des études d'Auer von Welsbach, études commencées en 1880 et qui ont abouti, à la suite de perfectionnements successivement réalisés et consacrés par des brevets pris en 1885, 1886, 1888, 1891, au foyer lumineux créé par ce chimiste et dont le succès a été universel.

Dans ses premiers essais (1880), Auer imprégnait des

tissus de coton au moyen de solutions des sels de divers corps susceptibles d'émettre des radiations lumineuses, puis calcinait ces tissus et obtenait ainsi une masse cohérente d'oxydes; il créa ainsi des manchons d'oxyde de lanthane, ce dernier composé ayant un pouvoir intensif considérable. Mais ces manchons n'avaient aucune consistance; ils tombaient en poussière après quelques heures. Auer leur donna les qualités de résistance qui leur manquaient en mélangeant à l'oxyde de lanthane un composé ayant moins d'affinité pour l'humidité et l'acide carbonique de l'air, la magnésie. Les manchons ainsi fabriqués, constitués par des oxydes de lanthane et de magnésium, ne tombaient plus en poussière après calcination; leur rendement lumineux n'était pas très élevé, 60 à 80 litres par carcel-heure. Ils présentaient d'ailleurs le grave défaut de devenir translucides et vitreux au bout de soixante à soixante-dix heures de fonctionnement.

Auer entreprit alors des mélanges à base d'oxyde de zirconium; le résultat fut meilleur. Il observa également qu'un accroissement de lumière assez sensible se produisait dans les mélanges renfermant de l'oxyde de thorium.

Il en conclut que ce dernier oxyde devait posséder la qualité d'exciter le pouvoir émissif des autres terres. En même temps son collaborateur, L. Haitinger, fit la très intéressante découverte que les combinaisons du cérium qui existaient en petite quantité dans la substance utilisée pour tremper les tissus — le fluide éclairant, comme on l'appelait alors — étaient très importantes pour son pouvoir émissif, et que, dans certaines conditions, il était avantageux d'exalter la teneur en cérium.

La lumière des mélanges à base de thorium ne se maintenait pas et, au bout de cinquante à soixante heures, elle n'était plus supérieure à celles des manchons dépourvus de thorium.

Des études spéciales faites sur le thorium révélèrent que plus le sel de thorium était pur, moins la lumière produite était intense.

Auer en conclut que le thorium n'était pas seul et qu'on pouvait décomposer la substance employée. L'examen des

eaux-mères montra que le composé réellement lumineux s'y trouvait. La décomposition semblait donc vraisemblable. Dans les portions les plus pures des eaux-mères, Auer ne put toutefois trouver de corps étranger, cependant des expériences ultérieures lui permirent de prouver l'existence d'un corps luminescent. Ce corps, voisin à divers points de vue du thorium, et dont les sels sont retenus par les sels de thorium, bien qu'il ne leur soit pas isomorphe, était le cérium.

La synthèse des eaux-mères n'était plus qu'un jeu ; Auer mélangea par petites portions une solution de cérium à une solution pure de thorium et obtint une lumière éclatante triple en intensité de celle fournie jusqu'alors.

Ce nouveau foyer fut lancé en 1890, et, d'une façon générale, les manchons d'oxydes de terres rares ont conservé la composition qui, à cette époque, avait donné à Auer d'excellents résultats, soit 99 0/0 d'oxyde de thorium et 1 0/0 d'oxyde de cérium.

105. Substances employées. — a) *Thorite*. — La matière première du thorium est la *thorite* (silicate hydraté de thorium) ; sa formule est $SiO^4Th + 2H^2O$. Ce minerai, fort rare, qu'on trouve dans la syénite en Norvège, entre Arendal et Christiania, se présente sous forme de cristaux dodécaédriques ; il a un éclat vitreux, sa couleur est rouge brun foncé et sa densité varie de 5 à 5,4, il est le plus souvent constitué par de la silice (17 à 19 0/0), des oxydes de thorium (50 à 58 0/0), d'uranium (2 à 9 0/0), de fer (6 à 8 0/0), de cérium (1 0/0), de la chaux, de la magnésie, de l'alumine.

Une variété de thorite, l'*orangite*, se distingue par sa couleur orangée et une plus grande teneur en oxyde de thorium (70 à 72 0/0).

Le débouché industriel considérable ouvert aux terres rares par la découverte d'Auer, et l'extrême rareté de la thorite, provoquèrent, de la part des chimistes, une série d'études sur les minerais des terres rares, et bientôt on fut convaincu que celles-ci étaient plus répandues qu'on ne le supposait. Quelques-uns de ces minerais, principalement ceux du thorium, formaient de véritables roches, et l'attention fut portée spécialement sur la présence, au Brésil, aux

États-Unis et dans l'ouest des îles Carolines du Nord, d'un sable de *monazite*, provenant de roches éruptives contenant du thorium, soit sous forme de silicate, comme dans la thorite, soit sous forme de phosphate.

Plus récemment, la présence de ces sables a été signalée en Russie, en Suède, en Norvège, en Angleterre (Cornouailles), en France, à Saint-Christophe, près le Puy. Généralement ces dépôts de sables spéciaux sont localisés dans le lit ou à la source de petites rivières, parfois au bord de la mer; aux États-Unis, les couches ont une épaisseur de 30 à 50 centimètres.

Ces sables monazités sont obtenus en lavant le gravier des lits de rivières dans des caisses en bois exposées au courant de l'eau, comme pour l'or dans les mines; l'eau entraîne les sables légers en laissant au fond de la caisse la monazite, généralement plus lourde, mélangée à des particules de fer que l'on élimine, après dessiccation, à l'aide d'un aimant : après épuration, le sable contient de 50 à 70 0/0 de monazite et des quantités variables d'autres minerais : *zircone*, *rutile*, *brookite*, *grenat* et parfois de l'*or*. Il est à remarquer d'ailleurs que les gisements de sables monazités se trouvent voisins de ceux de ce précieux métal. Dans beaucoup de placers aurifères, ce sable a été longtemps rejeté comme résidu du lavage des alluvions et des sables aurifères; il est accumulé en tas considérables qui seront peut-être repris pour la recherche de la monazite.

La valeur d'une monazite ou d'un sable monazité dépend de sa teneur en oxyde de thorium. Le sable contient en moyenne 50 à 70 0/0 de monazite, ce qui correspond à une teneur en oxyde de thorium variant de 1,25 à 5 0/0.

D'après les analyses de R.-J. Gray, de New-York, la plus grande proportion d'oxyde de thorium contenue dans le sable monaziteux du Brésil était de 1,2 à 7,6 0/0; dans le sable de Québec, de 1,1 0/0 ; dans celui du Connecticut, de 3,4 0/0, et dans celui des îles Carolines du Nord et du Sud, seulement de 0,23, 0,32 à 0,8 0/0. Comme il faut une installation assez coûteuse pour le traitement de cette matière, on n'aurait pas de bénéfice à traiter du sable ne contenant qu'un faible pourcentage de thorium. Par suite, on n'utilise guère

que ceux en possédant au moins 1,25 à 1,5 0/0; les autres sont abandonnés.

La *monazite* est un phosphate de cérium, de lanthane, de thorium avec didyme, erbium, yttrium et autres métaux rares de ces deux groupes. Elle se présente sous forme de prismes clinorhombiques d'un brun rougeâtre ou jaune verdâtre, translucides. Sa densité est de 4,9 à 5,3, elle est infusible au chalumeau et se dissout difficilement dans l'acide chlorhydrique.

Nous donnons ci-après, d'après Truchot, la composition de divers échantillons de monazite : ce sont surtout des phosphates, la silice entrant en petite quantité dans leur composition. Ils sont riches en oxydes de cérium, de lanthane, dont la proportion est plus élevée que celle d'oxyde de thorium, ce qui n'empêche pas qu'ils soient traités, cependant, pour cette substance, dont la consommation est particulièrement importante.

PROVENANCE		OURAL	COMTÉ D'AMÉLIA	COMTÉ DE BURKE	MONTAGNES BLEUES
Densité			5,30	5,10	5,13
Anhydride phosphorique	Ph^2O^5	28,50	24.04	29,28	—
Oxyde de cérium.	Ce^2O^3	26	16,30	31,38	21,4
— lanthane ..	La^2O^3	23,40	10,30	30.88	14,0
— de didyme	Di^2O^3	—	24,40		28,8
Silice...........	SiO^2	—	2,70	1,40	—
Oxyde de thorium	ThO^2	17,95	18,60	6,49	8
— d'étain....	Sn^2O	2,10	—	—	—
— de manganèse.....	MnO	1,86	—	—	—
Chaux...........	CaO	1,68	—	—	—
Oxyde de fer....	Fe^2O^3	—	0,90	—	—
Alumine	Al^2O^3	—	0,04	—	—
Pertes...........	—	—	—	0,20	—

Les sables monazités ont une composition très variable, comme l'indique l'analyse des sables des îles Carolines du Nord, d'après M. Glaser :

COMPOSITION DES SABLES	ÉCHANTILLON n° 1	ÉCHANTILLON n° 2
Silice	3,20	1,45
Acide titanique	0,61	1,40
Métaux du groupe cérique	63,80	59.09
Anhydride phosphorique	28,16	26,05
Oxyde de thorium	2,32	1,19
Oxyde de zirconium, glucinium, yttrium	1,52	2,68
Acide tantalique	traces	6,39
Manganèse		»
Oxydes de fer et de manganèse		0,65
Alumine		0,15

Les sables du Brésil renferment une plus forte proportion d'oxyde de thorium ; leur teneur varie de 4,80 0/0 à 7,60 0/0.

b) *Cérite.* — Ce minéral est un silicate hydraté de cérium qui se trouve dans le gneiss, notamment en Suède. Il se présente sous forme de masses amorphes de couleur brun rouge clair.

La cérite se dissout dans l'acide chlorhydrique en formant gelée ; elle ne fond pas au chalumeau. Sa densité varie de 4,9 à 5.

D'après Rivot, l'analyse de la cérite révélerait la composition suivante :

COMPOSITION DE LA CÉRITE	1er ESSAI	2e ESSAI
Silice	18	22,15
Oxyde de cérium	68,59	64,30
— de fer	2	2,55
— de manganèse	»	1,25
Chaux	1,25	3,50
Eau	9,60	5,25
Acide carbonique	»	»

61. Traitement. — a) *Thorite.* — Pour en extraire l'oxyde de thorium, le minerai est pulvérisé, transformé en bouillie par

addition d'eau et attaqué avec de l'acide sulfurique au dosage de 600 grammes d'acide par 1.000 grammes de matière; pendant le mélange de l'acide, on brasse continuellement le minerai, on chauffe légèrement la masse pour favoriser la réaction, puis on chasse l'excès d'acide par évaporation au bain de sable; on arrête ce chauffage dès que ne se manifestent plus les fumées blanches d'acide sulfurique anhydre.

On laisse refroidir la masse, on la pulvérise et on la projette dans de l'eau maintenue à 0° (30 litres d'eau environ par kilogramme de thorite).

Tous les sulfates d'oxydes rares se dissolvent, et il reste de la silice comme résidu. On filtre la solution obtenue; puis, dans le liquide clarifié, on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré; un nouveau filtrage assure la séparation des sulfates des métaux des cinquième et sixième groupes.

Après quelques instants, on chauffe la solution au bain-marie (45° environ); le sulfate de thorium, moins soluble à chaud qu'à froid, se précipite sous l'aspect de flocons blancs, d'où son nom de sulfate cotonneux $(SO^4)^2Th,8H^2O$.

Pour le purifier, et le rendre à nouveau anhydre, ce sulfate est desséché à 250°; il est ensuite pulvérisé et redissous en employant le minimum d'eau glacée; on le reprécipite, et on continue les dissolutions et précipitations jusqu'à ce que l'analyse spectrale du sulfate ne révèle plus les bandes d'absorption dues au didyme ou aux métaux du groupe erbique.

Lorsqu'on a ainsi purifié le sulfate cotonneux, on obtient l'oxyde de thorium en le calcinant au rouge vif; mais il est préférable de le dissoudre, puis de le précipiter par l'acide oxalique.

L'oxalate de thorium à son tour est filtré, lavé à l'eau bouillante, séché, puis calciné à basse température; on obtient ainsi un oxyde de thorium facilement soluble dans les acides; c'est une poudre blanche dont la densité varie de 9,228 à 9,402.

Le nitrate de thorium $(AzO^3)^4Th + 12H^2O$, obtenu par dissolution de l'oxyde dans l'acide nitrique, est cristallisé dans le

vide en tablettes assez volumineuses, déliquescentes, solubles dans l'alcool; séché à 100°, il perd $8H^2O$; c'est, alors, le sel commercial $(AzO^3)^4 Th + 4H^2O$.

Le nitrate de thorium pur est absolument blanc; déposé sur une mèche en coton ou en fil, il doit donner un manchon sans éclat, fournissant une légère lumière de couleur lilas.

Le nitrate de thorium doit se dissoudre complètement dans l'eau froide; sa solution, évaporée à sec, donne un résidu blanc : toute autre coloration est l'indice de son impureté. En solution aqueuse, il ne doit pas se colorer par l'acide sulfhydrique, et en solution dans les carbonates alcalins, par le sulfure d'ammonium.

b) *Traitement de la cérite pour la préparation de l'oxyde de cérium (procédé Schutzenberger).* — Le minerai pulvérisé est attaqué par l'acide sulfurique concentré (500 grammes par kilogramme de cérite), et l'excès d'acide est éliminé par la chaleur.

Les sulfates ainsi obtenus sont dissous dans l'eau froide. La solution est filtrée, puis précipitée par l'acide oxalique en solution chaude. Les oxalates sont ensuite filtrés, lavés à l'eau bouillante, séchés et calcinés au rouge; de cette façon, ils sont transformés en un mélange d'oxydes.

Ces derniers sont dissous dans de l'acide nitrique, et la solution de nitrates, évaporée à siccité, est un mélange des nitrates de cérium, didyme, lanthane, etc... ; le résidu est mélangé de 8 à 10 parties de nitre. A cet effet, on place dans une chaudière de fer du nitrate de potassium que l'on fait fondre (325°) et dans lequel on projette, par fragments, les nitrates précédemment obtenus, en agitant avec une spatule en fer le mélange jusqu'à disparition complète du dégagement de vapeurs.

L'opération achevée, on coule la masse sur une plaque de fonte et on la concasse.

Dans ce travail, le nitrate de cérium a été décomposé et transformé en bioxyde de cérium (CeO^2), tandis que les autres nitrates, qui résistent à cette température, n'ont pas subi de modifications. En dissolvant le produit de la coulée dans l'eau, l'oxyde de cérium va rester insoluble et on le

sépare par filtration. Des opérations très complexes permettent ensuite la séparation successive des autres oxydes (méthodes de Marignac, Auer, Crookes).

Le nitrate céreux $Ce^2 (AzO^3)^6 + 6H^2O$ est obtenu en dissolvant le bioxyde de cérium CeO^2 (en présence de matières réductrices) dans l'acide nitrique, puis en évaporant et séchant à l'acide sulfurique.

Les solutions de nitrates de thorium et de cérium ainsi préparées seront déposées sur une substance organique qui, une fois calcinée, laissera une carcasse susceptible d'émettre des radiations lumineuses très intenses, dans une flamme chaude analogue à celle produite par le brûleur bunsen.

Pratiquement, on prend un tissu, affectant le plus souvent la forme tronconique, qu'on trempe dans un liquide saturé de nitrates des corps précédemment décrits : il suffit ensuite de soumettre ces manchons imprégnés à la chaleur pour détruire la matière organique, décomposer les sels en oxydes et ne laisser qu'une carcasse résistante qui est le corps incandescent (*manchon*).

Ce manchon est ensuite adapté à un *brûleur* destiné à produire la plus haute température possible.

Nous étudierons donc successivement : 1° la fabrication du *manchon* ; 2° la construction du *brûleur*.

107. **Fabrication des manchons.** — *Tissu.* — Le tissu employé pour la fabrication du corps incandescent est généralement constitué par un fil de coton ou de ramie tricoté au métier de bonnetier; il se présente sous la forme de cylindres d'une longueur indéfinie, mais dont le diamètre est proportionné au calibre du brûleur correspondant.

Il importe qu'au sortir du métier ce tissu soit débarrassé des matières grasses, des traces de fer, etc .., qui paralyseraient l'action des dissolutions éclairantes.

A cet effet, il subit plusieurs lavages soignés :

1° A l'ammoniaque, pour enlever les matières grasses qui feraient obstacle à l'imprégnation ; on laisse séjourner le tissu une heure dans un mélange d'environ 1 partie en poids d'ammoniaque pour 20 parties d'eau;

2° A l'eau tiède, pour enlever toute trace d'ammoniaque;

3° A l'acide chlorhydrique, pour éliminer les traces de baryte, chaux, etc. (on laisse séjourner le tissu une heure environ dans un bain composé de 1 partie d'acide et de 20 parties d'eau);

4° A grande eau, tiède d'abord, froide ensuite, pour expulser toute trace d'acide, qui, à la dessiccation, détruirait le tissu ; on lave ensuite à l'eau distillée, et on met sécher sur des fils de nickel ou des baguettes de verre, en ayant soin d'éviter tout contact avec du fer ou des matières grasses.

Le tissu séché est coupé en cylindres de longueur différente, suivant le calibre du brûleur correspondant; pour les brûleurs actuellement utilisés, ces longueurs varient de 15 à 26 centimètres.

On fait ensuite à l'une des extrémités du cylindre un ourlet de 2 centimètres, que l'on renforce en appliquant une bande de tulle de même largeur.

Préparation du liquide éclairant. — Le liquide d'imprégnation est généralement formé d'une dissolution de nitrate de thorium et de cérium. Voici le dosage qui a été employé pour la confection des manchons fabriqués à l'usage des brûleurs intensifs, dans les ateliers en régie de la première section du service d'éclairage de la Ville de Paris :

Eau distillée..................	0,700	
Nitrate de thorium.............	0,320	1k,024
Nitrate de cérium..............	0,004	

Ces quantités correspondent à

Oxyde de thorium	153,15
— de cérium	1,83

soit un dosage de 1,20 0/0 de cérium.

Il est à remarquer que, si on augmente la teneur en cérium au delà de 1,25 0/0, le corps incandescent est moins riche en radiations lumineuses.

c) *Trempage des manchons.* — Le bain, ainsi préparé, est versé dans des cuvettes en verre ou en faïence; puis le tissu, préalablement ourlé et tronçonné, comme il a été indiqué précédemment, y est trempé pendant environ quinze minutes : chaque manchon absorbe, selon son calibre, une quantité plus ou moins élevée de liquide; pour les manchons grand modèle (types Saint-Paul, Bandsept ou Denayrouze), l'absorption est de 7 grammes : on peut ainsi tremper 146 manchons dans la quantité de liquide définie précédemment.

d) *Essorage et séchage.* — Les manchons, au sortir du bain, sont passés dans une essoreuse, composée de deux rouleaux en bois garni de caoutchouc tournant en sens inverse : le liquide en excès est recueilli pour être utilisé à nouveau. Après essorage, les manchons sont séchés dans des armoires ou chambres de dessiccation; à cet effet, ils sont traversés par des courants d'air chaud, puis étendus sur des tringles de verre ou de nickel.

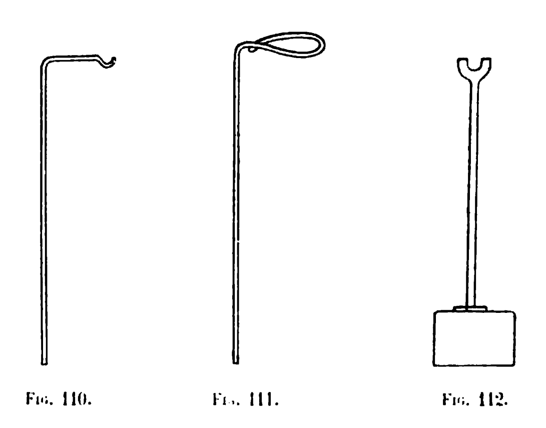


Fig. 110. Fig. 111. Fig. 112.

e) *Dispositif d'attache.* — Les manchons sont ensuite munis à leur partie supérieure d'un gros fil d'amiante destiné à les fixer à la tige qui les soutiendra au-dessus du brûleur; ce fil d'amiante est placé, au moyen d'un passe-lacet, dans

l'ourlet de a tête du manchon; à cet effet, on fronce préalablement l'ourlet.

f) *Dispositifs de suspension.* — *Tiges.* — Plusieurs procédés sont employés pour soutenir le manchon au-dessus du brûleur, et chaque procédé nécessite un mode d'attache différent. Les trois systèmes les plus employés sont: la tige à potence en nickel pur (*fig.* 110), la tige à couronne, en nickel également (*fig.* 111), la tige centrale en magnésie (*fig.* 112); ils ont tous leurs avantages et leurs inconvénients; les plus pratiques semblent être la tige à couronne et la tige centrale.

g) *Renforcement de la tête des manchons.* — La tête du manchon, qui est la partie fragile, doit être renforcée; on emploie avantageusement à cet effet une dissolution composée de :

Eau	$0^k,500$
Nitrate de magnésie........................	$0^k,250$
Nitrate d'alumine	$0^k,250$
Total................	$1^k,000$

Avec 1 kilogramme de ce liquide, on peut solidifier neuf cents manchons; l'imprégnation de la tête sur 1 ou 2 centimètres de hauteur est assurée en disposant le liquide à l'aide d'un pinceau.

h) *Incinération des manchons.* — Le manchon à incinérer est préalablement tendu, en lui faisant coiffer un mandrin tronconique en buis ayant généralement $0^m,25$ de hauteur et $0^m,08$ à la base. Le tissu est étiré et on lui fait épouser la surface du mandrin ; on le retire ensuite en le soulevant par la tête; il présente alors une forme tronconique assez régulière ; il est prêt pour l'incinération.

Pour effectuer cette opération, on utilise deux brûleurs bunsens assez puissants; le manchon est disposé verticalement; on introduit l'un des bunsens à l'intérieur, de façon que l'orifice du brûleur arrive à peu près aux 2/5 de la hauteur du manchon, puis, à l'aide de l'autre bunsen, allumé, on enflamme la partie supérieure du manchon; la combustion

se propage lentement jusqu'au bas du manchon ; le tissu végétal de celui-ci se consume, et il ne reste plus qu'un squelette d'oxydes; le manchon se contracte d'ailleurs d'environ 40 0/0. Lorsque la flamme s'éteint, on ouvre légèrement le robinet du bunsen disposé à l'intérieur du manchon, et on l'enflamme de l'extérieur, c'est-à-dire à travers les mailles du squelette; on ouvre progressivement le robinet, on règle bien les prises d'air du bunsen en vue d'obtenir la flamme la plus chaude possible et on procède à la calcination des oxydes.

Cette calcination doit être régulière ; il convient de déplacer le bunsen ou le manchon afin que toutes les parties du squelette soient largement incinérées; on observe que, pendant cette opération, le manchon devient incandescent, sa forme se régularise ; après dix minutes de cette calcination, le bunsen intérieur est laissé allumé à poste fixe, sous le manchon, et on procède, avec le bunsen extérieur, à une incinération complémentaire de la tête du manchon pendant deux ou trois minutes.

Cette incinération de la tête étant achevée, le manchon est remonté de façon à ce que son orifice inférieur soit à quelques millimètres au-dessous du niveau du bunsen intérieur, et on laisse cuire pendant quarante-cinq minutes environ, après quoi le manchon est prêt à servir pour l'éclairage. Si on dispose d'une forte pression de gaz, ce délai peut être réduit.

La calcination et la cuisson d'un manchon grand modèle exigent, pour être complètes, une dépense de gaz d'environ 200 litres pour l'alimentation des bunsens.

Ces opérations, qui sont généralement faites par des femmes, nécessitent une grande habileté si on tient à obtenir des manchons homogènes et de forme régulière; une ouvrière peut incinérer une centaine de manchons par jour.

Récemment, M. Compin a imaginé une machine en vue de l'incinération automatique des manchons.

Cette machine (*fig.* 113) se compose d'une barre carrée placée horizontalement entre deux montants verticaux et supportant une tringle percée de trous équidistants dans lesquels

se fixent les tiges de suspension des 12 manchons destinés à être incinérés simultanément. La barre peut se mouvoir automatiquement et monter ou descendre entre les deux guides latéraux le long desquels elle se déplace. Une série de 12 bunsens, montés sur une traverse horizontale en avant du bâti de la machine et alimentés par des tubes de caoutchouc branchés sur la rampe à gaz, est également susceptible de se mouvoir en montant ou descendant, comme la barre porte-manchons.

Ces mouvements de montée et de descente sont produits par l'action de deux pistons moteurs actionnés par de l'eau sous pression, de l'air ou tout autre fluide comprimé.

Une autre rampe à gaz, placée à la partie supérieure du bâti dans une position fixe, porte aussi 12 bunsens recourbés lançant de haut en bas leur jet de flamme, de sorte que les manchons à incinérer sont placés entre deux rangées de brûleurs, dont la série inférieure est mobile verticalement.

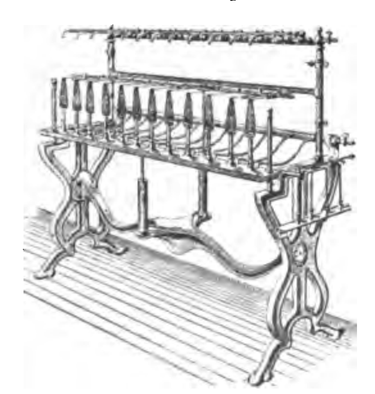


Fig. 113. — Machine Compin pour incinérer les manchons.

Pour commencer l'opération, on fait descendre les manchons sur les bunsens inférieurs, de manière que l'orifice des brûleurs arrive à 1 centimètre 1/2 de la tête des manchons. On allume simultanément les deux rangées des bunsens; on ouvre alors les robinets de mise en marche des pistons moteurs préalablement réglés à l'aide de cadrans gradués pour déterminer le mouvement ascensionnel simultané des flammes inférieures et des manchons qui s'effectue sans discontinuité, jusqu'au moment où un contact électrique indique, par une sonnerie, l'achèvement de l'incinération. Chaque machine peut incinérer 70 manchons à l'heure et une seule ouvrière peut suffire à la surveillance de 7 ou

8 machines. Avec du gaz sous forte pression, chaque machine peut incinérer 140 manchons à l'heure.

i) *Collodionnage des manchons.* — L'extrême fragilité des manchons est un obstacle aux manutentions nécessitées par le transport de l'atelier de fabrication aux lieux d'utilisation ; on a cherché à les consolider en les recouvrant d'une chemise protectrice, que l'on fait d'ailleurs disparaître au moment de l'emploi.

A cet effet, on trempe les manchons dans un bain de collodion, dont la formule est très variable suivant les fabricants. Les ateliers en régie de l'éclairage de la Ville de Paris ont adopté la solution suivante :

Acétone purifiée	$0^l,75$
Acétate d'amyle	$0^l,15$
Alcool	$0^l,60$
Coton azotique	30^{gr}
Huile de ricin	30^{gr}

Après un trempage dans cette solution, les manchons sont séchés et mis en étui, ils sont prêts à être expédiés. Au moment de les utiliser, on détruit l'enveloppe protectrice de collodion en présentant à la tête du manchon une allumette enflammée, c'est ce qu'on appelle le *flambage* du manchon.

Un assez grand nombre de brevets ont été pris depuis l'apparition du manchon Auer, en vue de constituer des corps incandescents, soit sous forme de manchons, soit sous forme de surfaces planes. Nous citerons notamment les *manchons Sunlight*, constitués par 98 0/0 d'oxyde d'alumine et 2 0/0 d'acide chromique ; ces manchons sont économiques, mais moins éclairants que ceux constitués par les oxydes de thorium et de cérium ; par contre ils sont plus résistants : la coloration de la lumière est rosée.

108. Manchons par filage direct de la matière à incandescence. — Un procédé de fabrication de manchons, entièrement différent de celui décrit précédemment, a été préconisé par Knofler, Oberlé, Duchange, Plaissetty. Il consiste

en principe dans l'emploi d'une dissolution de nitrocellulose de paille, bois, papier, coton ou autres fibres, dans un mélange d'éther et d'alcool additionné d'une solution alcoolique des sels éclairants.

La cellulose pure étant insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, il faut la faire passer à l'état de cellulose nitrée, pour la rendre soluble et la transformer en collodion : à cet effet, on mélange 15 parties en poids d'acide nitrique à 1,52 monohydraté avec 85 parties d'acide sulfurique. Dans des grands pots de grès, on fait couler 35 litres du mélange de ces acides, on y immerge 4 kilogrammes de cellulose, ouate sèche, et on brasse pendant quelques instants, devant un violent appel d'air qui emporte, à l'extérieur du local, les vapeurs acides ainsi dégagées. Les bocaux sont fermés par des couvercles en verre, et on laisse macérer pendant cinq heures. Les fibres ne sont pas détruites; mais elles se trouvent modifiées chimiquement, deviennent rudes au toucher. Le coton nitrique ainsi obtenu est soumis à l'action de presses qui le séparent des résidus d'acides, puis lavé à l'eau pendant dix heures dans des bacs où un agitateur le dissocie en flocons; on doit renouveler l'eau du bain plusieurs fois pour une même quantité de coton.

Au sortir du bain, le coton est soumis à l'action de puissantes presses qui éliminent en grande partie l'eau qu'il contient.

La cellulose nitrique est placée dans des autoclaves cylindriques animés d'un mouvement de rotation, 22 kilogrammes de cette matière sont mis en digestion avec 50 litres d'alcool à 95° et 50 litres d'éther ordinaire; après vingt heures de malaxation, on obtient une substance sirupeuse qui est le collodion.

Ce collodion est additionné des sels éclairants, et la solution obtenue est traitée par le procédé Chardonnet pour la fabrication de la soie artificielle; c'est-à-dire qu'on fait passer la matière sirupeuse dans des filières en verre extrêmement fines, qui produisent un fil aussi ténu que celui du ver à soie; plusieurs filaments sont réunis par une ouvrière à la sortie des filières et moulinés ensemble pour former un fil câblé de la grosseur désirée.

La matière ainsi filée étant assez inflammable, on obvie

à cet inconvénient en la plongeant dans un bain de sulfhydrate de calcium, qui dénitrifie la cellulose, lui enlevant ses facultés explosives, et précipite dans le filament, à l'état d'oxydes, les sels éclairants.

Le sulfhydrate en excès est enlevé par lavage à l'eau ; les oxydes éclairants, étant insolubles dans l'eau, restent dans l'intérieur du filament.

Les fils sont séchés, puis tissés ; on leur donne la forme d'un manchon.

La Société française d'incandescence par le gaz a récemment entrepris la confection de manchons par le système Plaissetty ; ces manchons semblent devoir se comporter convenablement à l'usage ; leur pouvoir éclairant est au moins égal à celui des manchons obtenus par trempage ; ils ont, sur ces derniers, l'avantage d'être à peu près réfractaires à la contraction qui se manifeste sous l'influence d'un service prolongé.

La Ville de Paris expérimente actuellement, sur quelques voies publiques, le manchon Plaissetty. Il semble donner d'excellents résultats.

109. Théories sur la lumière à incandescence. — Un assez grand nombre d'hypothèses ont été faites pour expliquer les qualités éclairantes du mélange des oxydes formant le manchon Auer. Il ne paraît pas que les théories développées jusqu'à ce jour donnent entière satisfaction : il est, en effet, nécessaire d'expliquer pourquoi un manchon constitué par du thorium ne donne qu'une très faible lumière, tandis que l'addition d'une très faible quantité de cérium, dont le dosage doit d'ailleurs être compris entre des limites très rapprochées, exalte considérablement le pouvoir lumineux.

D'après *Lewes*, le pouvoir éclairant des manchons serait dû à la cristallisation lente de certains corps amorphes, sous l'influence d'une haute température ; tant que cette cristallisation dure, le manchon jouit d'une vive incandescence ; le pouvoir éclairant aurait, ensuite, tendance à diminuer avec l'usage.

L'amoindrissement de l'éclat des manchons au bout d'un certain temps s'accorde bien en partie avec la théorie de

Lewes; mais celle-ci ne précise pas l'influence sur le rendement lumineux des divers dosages employés.

Killing, après de nombreux essais, a admis qu'il n'y a, en principe, que les corps donnant naissance à plus d'un oxyde qui peuvent être mélangés, comme producteur ou excitateur de lumière, dans le squelette en oxyde de thorium ou en alumine, ou être ajoutés ensuite à ce squelette en recouvrant celui-ci d'une solution alcoolique de nitrates (cérium, urane, etc.). Des expériences ont prouvé, en effet, que le mélange intime des deux oxydes, thorium et cérium, n'était pas indispensable; on peut, avec un manchon d'oxyde de thorium pur recouvert ensuite de nitrate de cérium, obtenir une lumière brillante.

Killing et Bunte expliquent le pouvoir lumineux du mélange thorium-cérium, non par un grand pouvoir émissif lumineux spécial aux mélanges de terres rares[1], mais pour les deux raisons suivantes :

1° Haute température que prennent ces corps dans la flamme;

2° Propriétes catalytiques de l'oxyde de cérium.

Bunte a observé que l'oxyde de thorium n'exerce aucune influence sur la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène, celle-ci se produisant à 660°; avec l'oxyde de cérium, au contraire, la température de combinaison est abaissée à 348°; on peut, dès lors, supposer que, mis en présence de la flamme du gaz, le cérium exalte la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène, développant ainsi une très haute température, par laquelle il est, lui-même, amené à une vive incandescence.

D'après cette théorie, il semblerait qu'un manchon constitué exclusivement par de l'oxyde de cérium dût fournir une lumière brillante; or il n'en est rien. *Bunte* explique cette anomalie apparente en faisant intervenir la masse d'oxyde en jeu; on sait qu'un fil très fin en platine fond

[1] Les expériences de Bunte ont prouvé que le pouvoir émissif de l'oxyde de cérium, ou de thorium, ne diffère presque pas de celui du charbon et de la magnésie.

dans la même flamme qui n'a pu réuss.r à fondre, ni même à porter à une incandescence vive, un treillis de platine ou un fil de diamètre plus gros. Ce phénomène est dû à ce que, sur une masse plus grande de platine, la conductibilité agissant avec plus d'ampleur, jamais le maximum de température ne peut être atteint ; le treillis ou le gros fil ne peuvent prendre qu'une température moyenne.

Dès lors, si on présente à l'action de la flamme une substance douée des propriétés catalytiques, comme l'oxyde de cérium ou le platine, préalablement divisée en particules infiniment petites, on doit obtenir sur cette substance le maximum de température, et l'incandescence est plus intense.

Dans le manchon Auer, l'oxyde de thorium, produit après la calcination du nitrate, servirait de squelette isolant supportant les particules d'oxyde de cérium réparties à l'infini sur ses filaments, l'oxyde de thorium n'aurait ainsi qu'un rôle passif; il contribuerait aussi peu directement au pouvoir éclairant que l'hydrogène, le méthane et l'oxyde de carbone concourent à celui du gaz dans l'éclairage direct, bien qu'ils entrent pour près de 95 0/0 dans sa composition.

Cette théorie satisfait assez bien l'esprit; elle explique d'ailleurs suffisamment qu'une augmentation du dosage de l'oxyde de cérium soit défavorable au pouvoir lumineux du manchon; on accroit ainsi, en effet, la masse du corps excitateur aux dépens de sa température.

L'affaiblissement de lumière que l'on constate après un assez long usage du manchon Auer s'explique par le fait qu'une partie des filaments du thorium sont usés par le frottement du courant de gaz et qu'une partie de la matière, se réunissant aux particules poussiéreuses de l'air, augmente les pertes de chaleur.

St-John, à la suite d'expériences diverses sur le rayonnement de différents corps, observa que ce rayonnement, examiné photométriquement, a une température de 1.140°, et, pour des longueurs d'onde embrassant la totalité du spectre lumineux, est sensiblement le même pour le platine, la magnésie, les oxydes de didyme, de zircone, de lanthane, d'erbium, de fer et de zinc.

Il détermina ensuite expérimentalement le pouvoir émissif des divers oxydes à la température de 1.050° et trouva les valeurs suivantes :

	LONGUEUR D'ONDE	PLATINE	MAGNÉSIE	ZIRCONE	LANTHANE	ERBINE	OXYDE DE FER
	λ						
Rouge........	0,613	1	2,68	2,84	2,23	2,50	2,44
Jaune verdâtre	0,568	1	2,99	3,15	2,15	2,55	2,65
Vert..........	0,515	1	3,81	4,03	2,27	3,35	3,04

On voit que tous les oxydes étudiés rayonnent plus fortement que le platine, le rapport étant d'ailleurs particulièrement élevé pour le zircone, notamment dans la région verte du spectre visible.

On est ainsi autorisé à conclure que la cause de l'éclat des manchons réside surtout dans leur pouvoir émissif considérable dans le spectre visible, spécialement dans le voisinage du vert.

M. *Ch. Guillaume* fait d'ailleurs justement remarquer à ce propos que, à l'exception du lanthane, les corps examinés par St-John ont, par rapport au platine, un pouvoir émissif qui va en croissant lorsqu'on avance dans le spectre. Or, comme à la température à laquelle ont été faites les expériences ci-dessus rappelées, le platine est encore rougeâtre, les oxydes sont nécessairement plus blancs. De plus, si on admet que l'extrapolation soit permise au delà des limites du spectre visible vers les grandes longueurs d'onde, on pourra penser que la répartition de l'énergie rayonnée dans les diverses régions du spectre est plus avantageuse, au point de vue de l'éclairage, dans les oxydes que dans le platine.

MM. *Le Chatelier et Boudouard* ont exposé, au même point de la flamme d'un brûleur bunsen, la soudure d'un couple aplati sous forme d'un petit disque de 0m,0015 de diamètre, soit nue, soit recouverte tour à tour de divers oxydes; ils ont ainsi trouvé les températures et éclats ci-après; les intensi-

tés sont exprimées en prenant pour unité la radiation correspondante du platine fondu de l'étalon Violle.

CORPS	TEMPÉRATURE	ROUGE	VERT	BLEU
Platine............	1290°	$\frac{1}{10^3} \times 8{,}5$	$\frac{1}{10^3} \times 4$	$\frac{1}{10^3} \times 4{,}4$
Oxyde de fer........	1080	$\frac{1}{10^2} \times 1{,}5$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}48$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}1$
Manchon Auer.....	1380	$\frac{1}{10^3} \times 7$ »	$\frac{1}{10^2} \times 12{,}5$	$\frac{1}{10^2} \times 12{,}5$
Oxyde de thorium..	1290	$\frac{1}{10^2} \times 1{,}45$	$\frac{1}{10^2} \times 1{,}4$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}3$
— de cérium ...	1110	$\frac{1}{10^2} \times 1{,}90$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}7$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}15$
— d'urane	1070	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}30$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}15$	$\frac{1}{10^2} \times 0{,}05$
— de lanthane..	1250	$\frac{1}{10^3} \times 4$ »	$\frac{1}{10^2} \times 3{,}10$	$\frac{1}{10^2} \times 1{,}8$

On voit ainsi que le platine, par exemple, dont le pouvoir émissif est 1/4 de celui du fer, donne cependant 10 fois plus de lumière. Mais c'est le manchon Auer qui a le rayonnement le plus élevé, surtout dans les courtes longueurs d'onde, vers le bleu. Aucun des oxydes purs n'est doué de cette propriété et, à ce point de vue, le manchon est le plus apte à donner une lumière intense.

Dans une autre expérience, MM. *Le Chatelier et Boudouard* ont comparé l'éclat des filaments d'un bec Auer ordinaire, en service depuis plusieurs mois, avec l'éclat d'une matière semblable placée sur la soudure d'un couple.

		ROUGE	VERT	BLEU
	Bec Auer	0.23	0.41	0.41
Substance analogue soumise aux températures de :	1100°...	0.0023	0.0017	0.0013
	1300°...	0.019	0,031	0.02
	1500°...	0.14	0.28	0.17
	1700°...	0,35	0.78	0.40

L'éclat, en fonction de celui de l'étalon de platine, est donné, pour le bec Auer et pour la substance de même nature à diverses températures, dans le tableau de la page précédente; d'où une première constatation, c'est que la température du manchon varie de 1.590° à 1.710° suivant la radiation utilisée.

Les expérimentateurs concluent que la théorie du bec Auer peut être ainsi formulée : le manchon est formé d'une matière dont le pouvoir émissif à la température où il fonctionne est variable pour les différentes radiations du spectre ; c'est donc, au moins à cette température, ce que l'on appelle un corps coloré. Son rendement avantageux résulte de ce que son pouvoir émissif, très élevé pour les radiations bleue, verte et jaune, est moindre pour le rouge et vraisemblablement beaucoup plus faible pour les radiations de l'infra-rouge. La proportion d'énergie rayonnée sous forme de radiations visibles est, par suite, très grande.

Auer, à son tour, se représente ainsi les phénomènes produits par le mélange de thorium et de cérium :

Un corps doué de pouvoir émissif, c'est-à-dire susceptible d'émettre une lumière intense, lorsqu'il est porté à l'incandescence dans une flamme, est composé d'oxydes infusibles en mélange moléculaire. Le composant principal de ce mélange doit rester intact dans la flamme, tandis que l'autre peut y être facilement réduit et oxydé ; le rapport pondéral des éléments du mélange doit dépendre de la pression sous laquelle on opère ; à la pression atmosphérique, ce rapport est 1 de cérium et 99 de thorium ; il pourrait être plus grand sous une pression de 100 atmosphères.

Les gaz de la flamme oxydent et réduisent successivement et très rapidement le corps émissif aux endroits où il se trouve dans le manchon. Si les composants du mélange peuvent former une combinaison lorsque l'un d'eux est à un état d'oxydation inférieur ou supérieur, la combinaison doit se détruire brusquement lorsque le corps envisagé passe du degré d'oxydation convenable à un autre degré. Les terres, dans un état de division extrême, sont entourées d'un manteau de flamme, tantôt oxydante, tantôt réductrice. S'il y a réduction, il y a aussi décomposition; au contraire,

s'il y a oxydation, recombinaison des éléments, ces réactions peuvent se produire plusieurs millions de fois par seconde : il se produit des chocs moléculaires qui font naître des oscillations lumineuses de l'éther, et le corps devient lumineux.

§ 4. — Bruleurs a incandescence

110. Généralités. — Les très nombreux brûleurs à incandescence par le gaz imaginés depuis l'apparition du manchon Auer, c'est-à-dire depuis 1886, sont tous réductibles à un bunsen plus ou moins modifié, en vue de produire la combustion complète du gaz et d'assurer la meilleure incandescence des manchons. Beaucoup de ces becs ne diffèrent le plus souvent que par des détails de construction, dont l'utilité est parfois difficile à justifier.

Pour la plupart, la particularité réside dans les moyens d'élargir la flamme et de supporter les manchons. En particulier, le tube du bunsen est complété par une *tête* élargie dont le rôle n'est pas nettement défini ; en outre, diverses chambres, de hauteur variable, sont fermées à leur orifice par une toile métallique destinée à éviter les retours de flamme vers l'éjecteur.

Nous décrirons seulement les appareils les plus couramment employés, qu'on peut diviser en deux groupes : les brûleurs ordinaires, c'est-à-dire ceux dont la dépense horaire est inférieure à 200 litres de gaz, et les brûleurs intensifs dont le débit est supérieur à ce chiffre.

A. — Bruleurs ordinaires

111. Brûleur Auer. — Le brûleur Auer est un perfectionnement du bunsen ordinaire ; il se compose (*fig.* 114) de trois parties distinctes, l'*éjecteur*, la *cheminée*, la *tête* avec sa chambre de mélange et sa galerie. L'*éjecteur* (A) est constitué par un dé tronconique en cuivre dont la partie infé-

rieure est taraudée intérieurement pour pouvoir se visser sur les raccords des appareils d'éclairage (chandeliers, rampes, etc.), et la partie supérieure, recouverte d'une petite plaque d'aluminium percée de trous, trois ou cinq selon le calibre du brûleur, pour l'échappement du gaz.

La *cheminée* B, qui se visse sur l'éjecteur est constituée par deux cylindres superposés d'inégal diamètre. Dans le

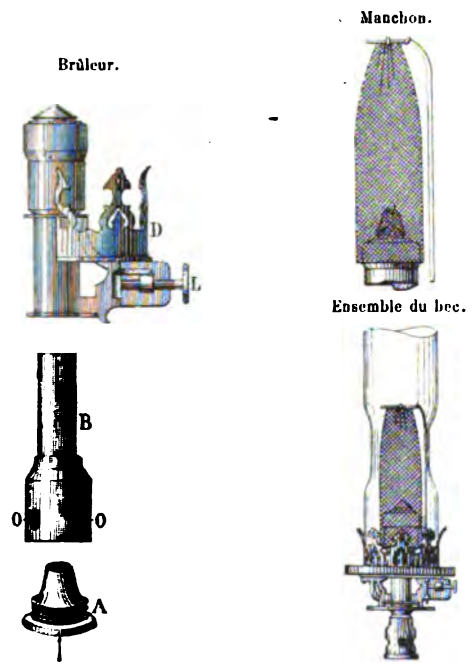


Fig. 114. — Bec Auer.

brûleur du calibre n° 2, construit pour un débit horaire de 115 litres de gaz, le *cylindre inférieur*, qui sert de logement à l'éjecteur, a un diamètre de 19 millimètres et une hauteur de 30 millimètres : il est muni de quatre fenêtres O percées sur des génératrices à angle droit. Ces fenêtres ont 6 millimètres de largeur et 15 de hauteur. Lorsque l'éjecteur est

dans son logement, son orifice est au niveau du centre des fenêtres. L'ouverture des fenêtres peut être modifiée à volonté, au moyen d'une douille de réglage glissant à frottement doux autour du cylindre inférieur et susceptible de s'élever ou de s'abaisser; lorsque cette douille est levée complètement, les fenêtres laissent passer l'air à un niveau inférieur à celui de l'orifice de l'éjecteur : lorsque au contraire la douille est baissée à fond, l'entrée de l'air dans le cylindre se fait à un niveau supérieur à celui de l'éjecteur; ces diverses positions à donner à la douille sont liées à la vitesse de sortie du gaz, c'est-à-dire à sa pression. Ajoutons qu'une capsule de recouvrement est disposée de façon à empêcher que l'air n'arrive normalement aux fenêtres. Le *cylindre supérieur* de la cheminée, dans laquelle s'élève le mélange d'air et de gaz, a un diamètre de 12 millimètres et une hauteur de 32 millimètres (pour les becs n° 2).

La *tête* qui surmonte la cheminée est formée de deux parties vissées entre elles; la partie *inférieure* est un tube cylindrique servant à assurer la liaison de la tête avec la cheminée; ce tube, ayant un diamètre intérieur égal au diamètre extérieur de la cheminée, entoure cette dernière : la partie *supérieure* ou *tête* proprement dite est une chambre cylindrique de 0,028 de diamètre et 0,020 de hauteur; son orifice supérieur est recouvert d'une toile métallique en fil de nickel ou de cuivre.

Le rôle de cette toile est d'abord de diviser, avant la combustion, le mélange d'air et de gaz amené par la cheminée et détendu dans la tête, puis d'empêcher, par son action refroidissante, tout retour de flamme à l'intérieur. Du centre de la toile métallique émerge un petit cône de cuivre, supporté par un axe vertical, calé sur la paroi interne de la chambre; ce cône est destiné à écarter la flamme à sa base et la rejeter sur les parois du manchon.

Sur le tube inférieur de la tête est fixée, par trois attaches, une galerie circulaire en cuivre D, destinée à supporter la cheminée de cristal qui doit entourer le foyer ainsi qu'une vis L servant à maintenir la tige de support du manchon.

Le fonctionnement du brûleur Auer présente les mêmes phénomènes que ceux du brûleur bunsen; le gaz sortant de

l'éjecteur entraîne à sa suite une quantité d'air plus ou moins grande, issu des fenêtres de la cheminée; le mélange des fluides s'opère pendant l'ascension ; ce mélange subit une détente favorable dans la tête, traverse la grille et est susceptible de s'enflammer au-dessus de celle-ci en donnant une flamme conique ayant sensiblement la forme du manchon qui doit la coiffer.

Le brûleur Auer est construit par la Société française d'Incandescence par le gaz suivant cinq types, consommant respectivement, pour un régime normal à la pression de 30 millimètres : 25 litres, 40 litres, 85 litres, 115 litres, 160 litres ; les foyers lumineux ainsi réalisés ont une consommation spécifique moyenne de 12 à 14 litres de gaz par carcel-heure.

Ces résultats s'entendent pour des observations photométriques faites suivant l'horizontale.

Il ne faut évidemment pas attacher une importance absolue aux résultats photométriques d'un foyer à incandescence, ceux-ci étant la résultante de trois causes indépendantes : la qualité du brûleur, celle du manchon, enfin la teinte de la lumière émise, les radiations de longueurs d'onde inégales produisant sur l'observateur des états physiologiques très différents.

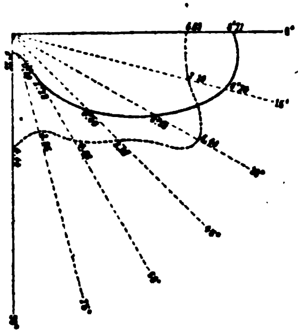


Fig. 115. — Courbes photométriques d'un bec Auer n° 2 avec et sans globe holophane.

La figure 115 représente la répartition de l'intensité lumineuse suivant les diverses directions d'un foyer Auer n° 2, débitant 115 litres de gaz, sous une pression de 70 millimètres d'eau.

112. Brûleurs Bandsept. — *Modèle primitif.* — Pour assurer un mélange bien intime du gaz et de l'air, en vue de la production d'une flamme très chaude, M. Bandsept a construit, en 1896, un brûleur se composant (*fig.* 116)

d'un éjecteur de gaz B, entraînant l'air ambiant à travers un faisceau de tuyères coniques C à section croissante que surmonte une cheminée divergente A, terminée par deux ou trois toiles métalliques ayant pour objet de favoriser le mélange des fluides et d'éviter, lorsqu'il est allumé à l'orifice de la chambre, le retour de la flamme vers l'éjecteur.



Fig. 116. Auto-mélangeur Bandsept.

Le faisceau de tuyères est fixé dans un cylindre percé de trous, entouré d'un autre cylindre également perforé, formant registre de réglage, qu'il suffit de faire glisser sur le premier, par un mouvement de rotation, en vue d'obturer à volonté les trous permettant à l'air de pénétrer dans les tuyères.

Le gaz arrive à l'appareil par l'éjecteur dont la cavité se rétrécit progressivement jusqu'à l'orifice, de manière à comprimer le fluide et à lui imprimer la plus grande vitesse à son entrée dans les tuyères. A mesure que le courant s'élève dans le faisceau, il entraîne l'air avec lui et chaque élément ou tronc de cône du faisceau contribue à la formation du mélange par son aspiration propre et l'appel d'air qu'il détermine dans le milieu ambiant.

Lorsque l'admission du gaz et celle de l'air sont bien réglées, la flamme produite au-dessus de la grille recouvrant la cheminée se présente sous une forme conique ; elle est très tendue, de coloration générale bleu vert pâle à sa base. On observe le phénomène caractéristique de la bonne combustion : une nappe bien distincte perlée et d'un bleu violacé que quelques gaziers appellent la *flamme collante*.

Un brûleur Bandsept, construit pour débiter 100 litres de gaz à l'heure et placé sous un manchon Auer, fournit, sous 50 millimètres de pression, une intensité lumineuse horizontale variant de 8,32 à 11,45 carcels, ce qui représente une consommation de 9 à 12 litres par carcel. Ce brûleur a un

excellent rendement, mais il est excessivement sensible aux variations de pression.

Modèle actuel. — M. Bandsept a établi, en 1901, un nouveau brûleur, conçu sur le même principe que le précédent, mais de construction beaucoup plus simple; il se compose, pour le calibre de 90 litres à l'heure (*fig.* 117), d'un éjecteur à un seul trou E surmonté d'une *cheminée de mélange* K, composée de trois parties : une base troneonique de 0,020-0,011 sur 0,010 de hauteur, un corps de cheminée divergente de 40 millimètres de hauteur, 0,011 à la petite base et 0,014 à la grande base, enfin une partie cylindrique de 0,014 sur 0,018 de hauteur.

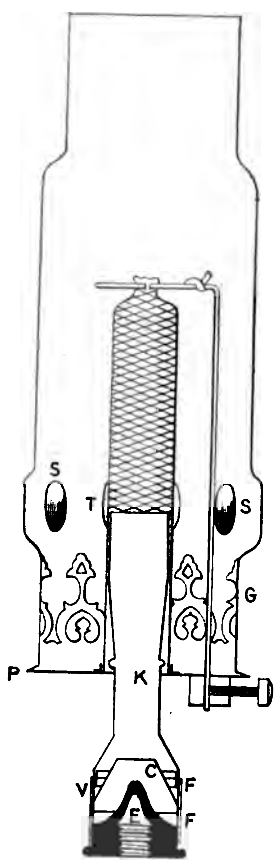


Fig. 117. — Brûleur Bandsept nouveau modèle.

Entre l'éjecteur et la base tronconique de la cheminée, est disposé un cône C destiné à favoriser l'afflux d'air. L'air aspiré pénètre par huit fenêtres F, dont les quatre du bas permettent l'entrée de l'air entre l'éjecteur et la paroi interne du cône d'aspiration, et les quatre du haut laissent passer l'air entre la face externe de ce même cône et la paroi intérieure de la base tronconique de la cheminée. Une virole mobile V, servant de registre, permet d'ailleurs d'obturer ces fenêtres en vue du réglage convenable de l'admission d'air.

La *tête* du brûleur est constituée par un cylindre destiné à coiffer le haut de la cheminée ; son orifice est muni d'une toile métallique T.

Une galerie de cuivre G, soudée autour de la tête, sert à fixer une cheminée de verre destinée à protéger le manchon et à accélérer le tirage.

Les cheminées de verre employées dans ce brûleur ont 0m,17 de hauteur et 0m,035 de diamètre ; elles sont perforées à leur base de six orifices circulaires S de 0m,015 de diamètre, destinés à permettre l'arrivée de l'air entre la paroi de la cheminée et le manchon ; toute pénétration d'air par la base de la cheminée est rendue impossible par l'adaptation d'une plaque obturatrice P à la base de la galerie de cuivre. De cette façon, l'air arrive normalement sur le manchon, et pénètre à l'intérieur, ce qui améliore le rendement calorifique de la flamme et par suite son pouvoir éclairant.

Nous ajouterons que ces cheminées perforées ne sont pas particulières au brûleur Bandsept ; elles peuvent être employées avec tout autre brûleur.

Le nouveau brûleur Bandsept a un excellent rendement ; muni de la cheminée à trous et coiffé d'un manchon marque Auer, il fournit la carcel-heure pour une consommation de 10 à 11 litres de gaz.

113. Brûleur Lecomte. — Le brûleur Lecomte, créé en 1898, a été étudié pour permettre aux foyers à incandescence d'être utilisés avec des pressions très faibles.

Fonctionnant à basse pression, son éjecteur est nécessairement plus ouvert que dans le brûleur Auer ordinaire ; cette particularité a pour corollaire de rendre son débit très sensible aux variations accidentelles de la pression dans les canalisations ; l'inventeur a supprimé l'influence de ces variations en disposant un rhéomètre au-dessous de l'éjecteur.

Le brûleur Lecomte (*fig.* 118) se compose d'un panier ajouré (*d*) vissé sur un petit rhéomètre sec (*g*) qui reçoit également un éjecteur (*a*) à trou conique dont l'angle est approprié à celui du jet gazeux. Une cheminée *b* sert de couloir d'échappement au gaz issu de l'éjecteur et à l'air qui pénètre par les trous percés à la base du panier. Cette

première cheminée, qui a une hauteur de 20 millimètres et dont la paroi laisse une ouverture égale à la section de la veine gazeuse, est entourée à son tour d'une seconde cheminée *c* composée d'une base conique d'environ 45 millimètres de diamètre et d'un corps cylindrique, de 20 millimètres de hauteur, destiné à entrer dans la tête du brûleur proprement dit, qui est analogue à la tête du bec Auer précédemment décrite. La deuxième cheminée, qui est d'ailleurs sertie avec le panier, est placée de telle façon que le plan de sa base se trouve à 5 millimètres environ au-dessous de l'orifice de la première cheminée.

Le mélange de gaz et d'air, issu de *b*, reçoit ainsi un nouvel afflux d'air aspiré dans l'intervalle séparant les cheminées. La vitesse de cet air s'accroît au fur et à mesure de son ascension; elle atteint celle du mélange au moment où l'air passe dans l'étranglement *bc* séparant les deux cheminées : il en résulte un brassage plus parfait du mélange qui, après avoir parcouru la deuxième cheminée, vient sortir à l'orifice de la *tête* du brûleur disposé audessus de l'appareil.

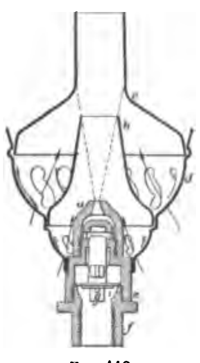


Fig. 118.
Brûleur Lecomte.

Les caractéristiques essentielles du bunsen Lecomte sont dès lors :

1° Un éjecteur disposé de manière à donner le rendement dynamique le plus élevé possible en atténuant, sinon en supprimant, la perte de force vive imposée par la contraction de la veine gazeuse, phénomène qui s'observe dans les bunsens munis d'éjecteurs en mince paroi;

2° Un système de cônes offrant cette particularité que le plus ouvert est toujours au-dessus et produisant, par la pénétration de l'air aspiré à l'intérieur de la masse gazeuse, un mélange très intime des fluides.

Le bunsen Lecomte n'a besoin d'aucun registre de réglage d'arrivée d'air; la constance de son régime est à signaler.

Le tableau, ci-après, donne les résultats d'essais officiels

(la tête et le manchon surmontant le bunsen étaient du système Auer) :

PRESSION EN MILLIMÈTRES D'EAU	DÉPENSE EN LITRES DE GAZ par heure	CARCELS	LITRES par CARCEL-HEURE
20	100,3	7,92	12,66
17	88,5	6,59	13,40
15	84,7	6,13	13,80

114. **Bec Kern.** — Ce brûleur, créé en 1897, et exploité tout d'abord en Angleterre, se compose (*fig.* 119) :

1° D'une cheminée à section longitudinale en forme d'une hyperbole dont les asymptotes font entre elles un angle de 16°; à partir du sommet C, les branches supérieures et inférieures de l'hyperbole sont inégales, mais de longueur parfaitement déterminée pour chaque type de brûleur. La cheminée est vissée sur une embase A, renfermant l'éjecteur de gaz B, dont l'orifice d'échappement se trouve en face des ouvertures d'entrée d'air.

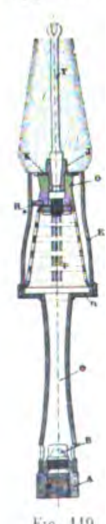
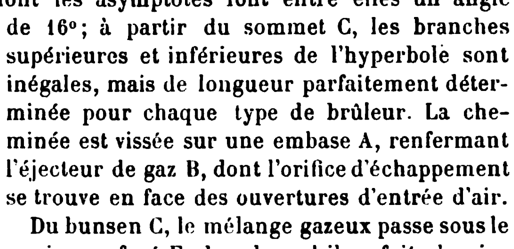
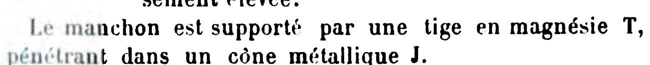


Fig. 119.
Bec Kern.



Du bunsen C, le mélange gazeux passe sous le panier perforé F, dans lequel il se fait plus intime, traverse les trous du panier pour se rendre ensuite dans la chambre fermée E et de là, à travers un croisillon H (centreur du système), autour de la pièce G; il s'échappe enfin par l'issue circulaire K, en se laminant entre les dents inclinées de cette sorte de roue dentée.

Le mélange gazeux, en traversant les chambres F et E, ainsi qu'en léchant le pourtour de la pièce G, s'échauffe sensiblement et arrive au point d'ignition à une température avantageusement élevée.



Le manchon est supporté par une tige en magnésie T, pénétrant dans un cône métallique J.

Le brûleur Kern est établi pour des débits horaires de

20 à 200 litres de gaz; sous une pression de 50 à 60 millimètres d'eau, il donne la carcel-heure pour une dépense d'environ 12 à 13 litres.

B. — Bruleurs intensifs

115. **Brûleurs Denayrouze.** — *Brûleur à mélangeur mécanique.* — Dans cet appareil (*fig.* 120), créé en 1895, le mélange

Modèle primitif.

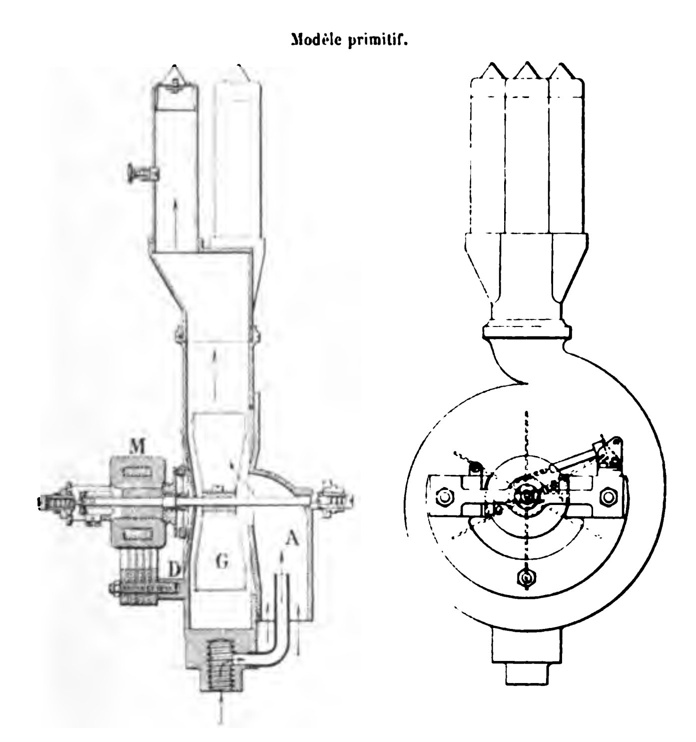


Fig. 120. — Brûleur Denayrouze.

et la trituration du gaz et de l'air sont produits par un ventilateur malaxeur animé d'une très grande vitesse qu'on

dispose à l'intérieur d'une caisse cylindrique en métal. Il est ensuite refoulé à très faible pression sous un ou plusieurs manchons Auer, disposés en haut de cheminées cylindriques recouvertes d'une toile métallique.

Ces manchons sont montés directement sur les cheminées, leur tige-support s'engageant dans un trou ménagé sur un appendice latéral y est maintenue par une vis de serrage. Les manchons ne sont pas, comme dans les becs précédemment décrits, entourés d'une cheminée de verre ; ils sont à l'air libre.

Le gaz arrive dans une conduite ordinaire filetée à sa partie inférieure, de manière à pouvoir se visser sur tous les raccords; il débouche ensuite dans une chambre A (*fig.* 120).

Le fluide, en passant, aspire l'air dans la chambre du ventilateur G, d'où le mélange est refoulé dans les cheminées verticales porte-manchons.

Sur l'arbre même du ventilateur se trouve calé un petit moteur électrique M, qui reçoit du courant d'une pile, d'un accumulateur ou d'une distribution. L'inducteur est constitué par un aimant permanent; l'induit fait environ 1.000 tours par minute.

Il n'y a pas de robinet, mais simplement une soupape en fer doux entouré d'une bobine. En fermant le circuit du ventilateur, le courant passe dans cette bobine, qui attire la soupape. L'allumage se fait électriquement par l'étincelle de rupture d'un circuit près du manchon. Le mouvement du ventilateur n'étant pas constant, le réglage est obtenu par un régulateur à force centrifuge rompant le circuit et, par suite, fermant la soupape d'arrivée du gaz lorsque le débit est trop fort.

En groupant plusieurs cheminées actionnées par le même ventilateur, on peut réaliser des foyers très intenses ; quatre foyers de cinq brûleurs ont été mis à l'essai sur la place du Palais-Royal, pendant quelques mois de l'année 1896. Ce système de brûleur a été abandonné en raison des sujétions créées par son mécanisme délicat, peu compatible avec les nécessités de l'éclairage public.

Ce système de brûleur, qui fonctionne à manchon nu, c'est-à-dire dépourvu de cheminée de verre, a un rende-

ment élevé. Le tableau ci-dessous résume quelques essais photométriques effectués sur un appareil à un manchon.

CONSOMMATION de gaz PAR HEURE	INTENSITÉ lumineuse horizontale EN CARCELS	ÉNERGIE ÉLECTRIQUE employée pour actionner le moteur		DÉPENSE de gaz en litres par CARCEL-HEURE
		VOLTS	AMPÈRES	
320^{l}	28.20	2.4	0,30	11,4
373	32,20	2,5	0,31	11,6
329	26.80	2,4	0,30	12,3

Brûleur Denayrouze self-mélangeur. — M. Denayrouze a créé, en octobre 1896, un brûleur beaucoup plus simple que

Modèle actuel.

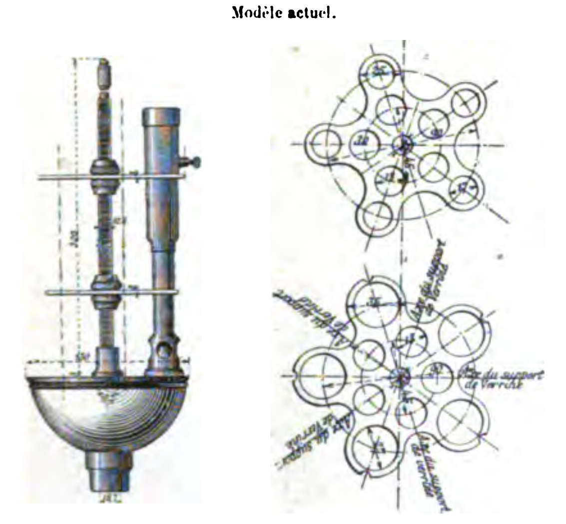


Fig. 121. — Brûleur Denayrouze self-mélangeur.

le précédent; il se compose (*fig.* 121) d'un bunsen ordinaire surmonté d'une chambre cylindrique appelée chambre de détente, dont la section est supérieure à celle du bunsen

proprement dit; le rapport de ces sections pour un brûleur de 270 litres de débit horaire est d'environ 8/3.

Pour déterminer la hauteur à donner à la chambre de détente, M. Denayrouze pose en principe que cette hauteur doit au minimum correspondre à celle du cône bleu de la flamme du bunsen *libre* bien réglé. Cette condition, revendiquée dans le brevet Denayrouze, manque de précision ; en fait, elle est exacte, non pas dans l'hypothèse d'un bunsen *libre*, mais seulement lorsque l'orifice du bunsen est préalablement coiffé d'une toile métallique du calibre n° 22. Dans ces conditions seulement, le cône bleu qui se manifeste lorsqu'on enflamme le gaz à sa sortie a une hauteur correspondant à celle de la chambre de détente dont il convient de surmonter le bunsen.

Au-dessus de cette chambre, une toile métallique est tendue sur une douille supportant le manchon.

L'éjecteur de l'appareil est à trois ou cinq trous; les prises d'air sont réglables par la manœuvre d'un registre, comme dans le brûleur Auer.

Le réglage du brûleur Denayrouze, comme d'ailleurs celui de tous les brûleurs à incandescence, s'effectue par la manœuvre simultanée de l'arrivée de l'air et du gaz, et l'observation de la flamme nue, c'est-à-dire dépourvue de manchon.

Le caractère extérieur d'un bon mélange gazeux s'observe au-dessus de la toile métallique ; on voit apparaître, à la base de la flamme, et comme collée à la toile, une nappe bien distincte, perlée d'un bleu violacé ; c'est la caractéristique certaine d'une haute température. Cependant il est important d'observer que les conditions de combustion de la flamme nue ne sont pas les mêmes que celles de la flamme entourée d'un manchon. Dans le premier cas, l'afflux d'air ambiant destiné à parfaire la quantité d'air entraîné par l'éjecteur s'obtient sans difficulté; dans le second cas, le tissu du manchon porté à une haute température modifie l'état de la flamme, la zone intérieure de combustion se développant, comme auparavant, aux dépens de l'air entraîné, tandis que les produits de cette combustion incomplète ont à traverser les mailles du manchon et à brûler à sa surface ;

en outre, le manchon chaud empêche la diffusion dans l'intérieur de l'air ambiant nécessaire pour compléter la combustion. On doit donc, dans le réglage à flamme nue des brûleurs à incandescence, donner un excès d'air par la manœuvre des registres d'admission ; on corrige ensuite, au jugé de l'éclat lumineux, lorsque le manchon a été mis autour de la flamme.

Le tableau ci-dessous donne le résultat d'essais photométriques faits en décembre 1897 sur le brûleur self-mélangeur Denayrouze pourvu d'un manchon brûlant à l'air libre.

CONSOMMATION de gaz par heure EN LITRES	INTENSITÉ lumineuse horizontale EN CARCELS	PRESSION d'écoulement EN MILLIMÈTRES D'EAU	DÉPENSE DE GAZ en litres PAR CARCEL-HEURE
275	16,75	72	16,4
277	17,10	72	16,4
281	17,10	72	16,4

Le brûleur Denayrouze self-mélangeur du type de 270 litres à l'heure est employé pour l'éclairage des voies publiques de Paris; en groupant plusieurs brûleurs sur un même chandelier, on peut obtenir des foyers très puissants, rivalisant avec les foyers électriques.

Les becs les plus généralement employés sont ceux de 270 litres, dont le manchon est à air libre, et ceux de 170 litres, dont le manchon est protégé par une cheminée en cristal de forme cylindrique; le rendement de ces derniers est supérieur; la consommation n'est, en effet, que de 12 litres par carcel-heure; avec des cheminées en verre perforé à la base, le rendement a été élevé à 10 litres et demi par carcel.

116. Brûleur Saint-Paul. — Le principe essentiel de ce brûleur, construit en 1897, consiste à chauffer préalablement le gaz, qui se mélange ensuite à l'air pour l'alimentation du bunsen. M. Saint-Paul a reconnu, à la suite d'expériences probantes, qu'un jet de gaz porté à une température conve-

nable avant son arrivée au brûleur bunsen, et en un point le plus rapproché possible de l'éjecteur, détermine un mouvement moléculaire qui favorise puissamment le mélange

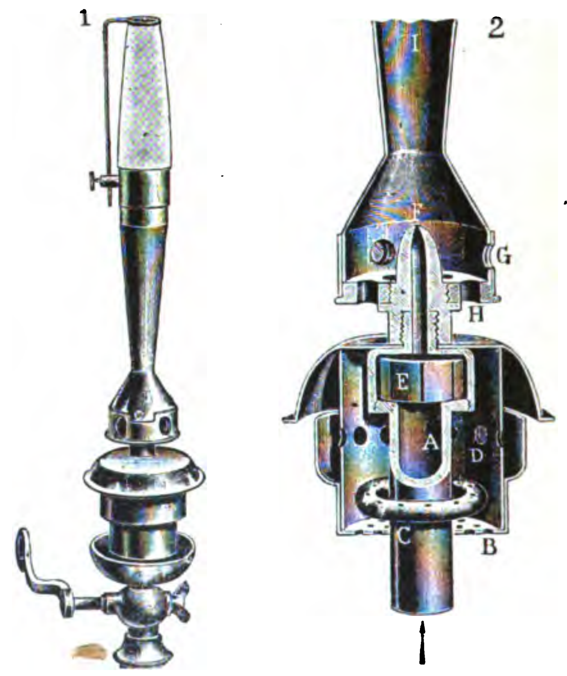


Fig. 122. — Brûleur Saint-Paul.

intime de la masse gazeuse, en produisant, pour un même débit horaire, une flamme d'une énergie calorifique plus considérable.

L'échauffement de l'air est obtenu (*fig.* 122) au moyen d'une petite couronne C concentrique au tube adducteur A, elle est placée dans une enveloppe cylindrique D percée de trous par où s'échappent les produits de la combustion de petits jets de gaz brûlant en veilleuse. L'air nécessaire à l'alimentation de la couronne de chauffage C pénètre par des

orifices pratiqués en B dans le dessous du cylindre D. Cette veilleuse maintient à la température voulue le disque ou galet métallique E dans lequel le gaz s'échauffe à son passage. Le jet de gaz chauffé s'échappe de l'éjecteur F placé à la base du tube bitronconique dont le pourtour est percé d'orifices H fixes et à réglage G, par lesquels afflue l'air extérieur entraîné par la vitesse d'écoulement du gaz; le mélange s'effectuant alors dans le canal vertical I devient complètement homogène et arrive au sommet du mélangeur, où il s'enflamme au-dessus d'une toile métallique en portant à l'incandescence un manchon, comme dans le brûleur Denayrouze.

Des essais effectués au laboratoire de la Vérification du gaz de Paris, sur un brûleur Saint-Paul à un seul manchon, ont donné les résultats suivants :

CONSOMMATION de gaz par heure VEILLEUSE COMPRISE (15 litres)	INTENSITÉ lumineuse horizontale EN CARCELS	PRESSION d'écoulement EN MILLIMÈTRES D'EAU	DÉPENSE DE GAZ en litres par carcel-heure VEILLEUSE COMPRISE
297	20,77	70	14,29
350	24,53	70	14,27
500	37,20	150	13,50
573	59,00	197	9,70

Les brûleurs de ce système groupés par deux, trois, cinq, etc., sont appliqués à l'éclairage public intensif des voies parisiennes, notamment dans la rue de la Paix, les places de l'Hôtel-de-Ville et de la Bourse, etc...

Des expériences, faites par M. Saint-Paul sur le rendement thermique de cet appareil, ont démontré que, pour un débit horaire de 330 litres, sous une pression de 140 millimètres, la flamme atteint une température de 1.766°, mesurés au moyen d'un pyromètre Le Châtelier relié à un galvanomètre Desprez et d'Arsonval. Les graphiques (*fig.* 123) résument une série d'essais révélant l'influence du chauffage du gaz au voisinage de l'éjecteur : la courbe la plus élevée s'applique au brûleur Saint-Paul fonctionnant suivant son régime normal, c'est-à-dire avec chauffage préalable du gaz.

La courbe au dessous se rapporte au même brûleur fonctionnant sans chauffage préalable, l'alimentation de la veilleuse

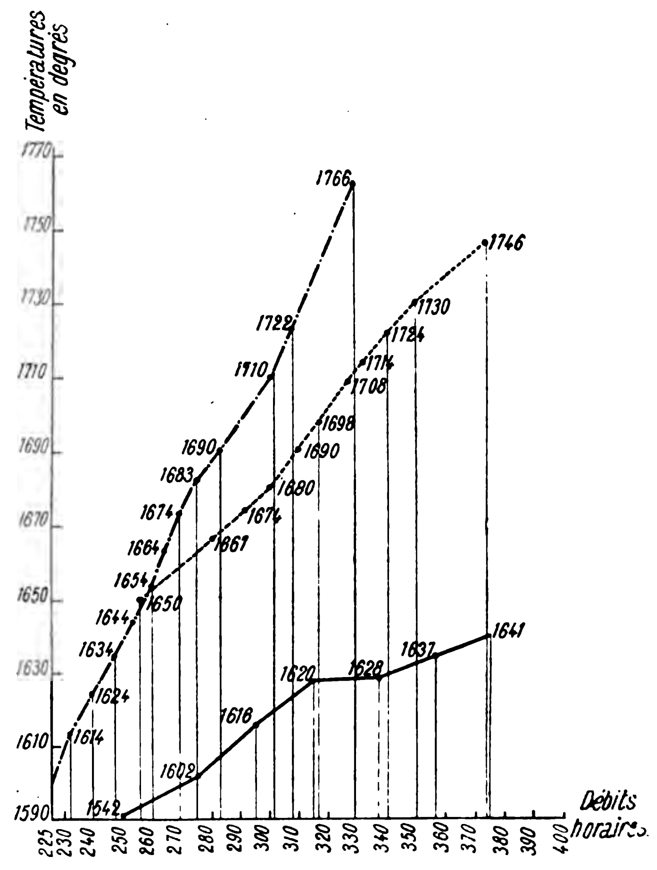


FIG. 123. — Courbes des températures du brûleur Saint-Paul.

étant supprimée ; enfin la courbe inférieure s'applique à un brûleur d'un autre système, mais d'un calibre analogue à celui du brûleur Saint-Paul.

Il était d'ailleurs facile de prévoir ces résultats par les consi-

dérations suivantes déduites des théories de M. Witz. Envisageons la combustion d'une masse de gaz et d'air sec dans une enceinte où l'on peut entretenir une haute température. Une première combustion de la masse gazeuse engendre Q calories déterminant, dans toute la masse, une température T.

Soient d'autre part C^1, C^2, C^3 les chaleurs spécifiques de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau et de l'azote à cette température ; p_1, p_2, p_3, les poids de ces gaz, on a l'équation

$$T = \frac{Q}{p_1C^1 + p_2C^2 + p_3C^3},$$

or, la combustion de 1 kilogramme de gaz d'éclairage à la densité moyenne de 0,365 donnant 5.300 calories au mètre cube, fournit :

2.740 litres d'eau ou....................	$2^{kg},210$
1.059 litres d'acide carbonique soit.......	2 , 095
10.104 litres d'azote, soit...............	12 , 710

Dès lors, la chaleur dégagée est de $\frac{5.300}{1,293 \times 0,365}$, soit 11.230 calories, et, en remplaçant, dans la formule précédente les chaleurs spécifiques par leurs valeurs respectives, on obtiendrait théoriquement une température supérieure à 2.000°. En pratique, cette valeur est inférieure, car le plus souvent les brûleurs industriels ne fonctionnent pas avec les proportions chimiques voulues; tantôt il y a excès d'air, tantôt insuffisance ; dans le premier cas, l'excès d'air diminue la température de la flamme par absorption d'une partie des calories; dans le second cas, la combustion du gaz est incomplète et le numérateur de la fraction ci-dessus est trop faible.

On améliore donc les conditions de fonctionnement d'un brûleur lorsqu'on augmente la valeur pratique du numérateur Q de la formule ci-dessus, en élevant préalablement la température de la masse en combustion et en facilitant l'homogénéité du mélange d'air et de gaz, soit qu'on modifie

la densité des constituants, soit qu'on leur fasse subir un brassage mécanique. Notons qu'on peut aussi bien exalter la valeur de T de la formule précédente, en diminuant l'influence du dénominateur, par exemple en employant de l'oxygène pur, ce qui annulerait le terme p_3C^3.

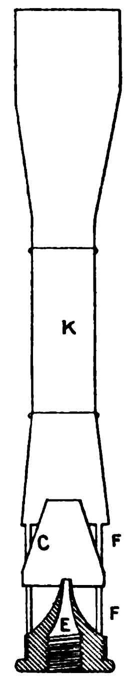


Fig. 124. — Brûleur intensif Bandsept

117. Brûleur intensif Bandsept. — Ce brûleur (*fig.* 124) est construit suivant le même principe que le brûleur décrit n° 112; c'est-à-dire qu'il se compose d'un éjecteur E, surmonté d'un cône d'aspiration C, et d'une cheminée de mélange K, recouverte d'une toile métallique. Huit fenêtres F assurent l'entrée de l'air. Ce brûleur est établi pour un débit horaire de 300 litres et fournit, sous une pression de 68 millimètres, une intensité de 25 carcels environ, soit une dépense de 12 litres par carcel-heure.

Ce brûleur fonctionne sans cheminée de verre. Il est employé à Paris pour l'éclairage de certaines voies publiques.

En groupant plusieurs brûleurs sur une même couronne, on peut réaliser des foyers de grande intensité.

Le tableau, ci-après, présente les résultats photométriques obtenus au laboratoire de la Compagnie parisienne du gaz sur un foyer composé de 10 brûleurs Bandsept.

PRESSION d'écoulement en millimètres D'EAU	CONSOMMATION de gaz PAR HEURE	INCIDENCE du rayon lumineux photométré par rapport A LA VERTICALE	INTENSITÉ en CARCELS	INTENSITÉ hémisphérique inférieure - moyenne EN CARCELS
1er essai 85mm	3.000 litres	90°	141	132
		75°	143,5	
		60	147	
		45	135,5	
		30	99,5	
		15	71,5	
2e essai 50mm	3.000 litres	90	91	88
		75	93,5	
		60	97	
		45	84	
		30	58	
		15	38	

118. Lampe Lucas. — Cette lampe, qui est assez répandue en Allemagne, et qui vient d'être lancée en France, est conçue en vue de réaliser des foyers très intenses susceptibles de rivaliser avec les arcs électriques.

Elle est constituée, comme le montre la figure 125, par un bunsen formant chandelier *c* composé de deux chambres cylindriques et dont l'orifice est pourvu d'une toile métallique *r*. Au-dessus du manchon *a* est disposée simplement une cheminée métallique *b* destinée à accélérer le tirage et rendre ainsi plus complet le mélange du fluide avant sa combustion ; cette cheminée est assurée dans sa position par deux colliers guides *o*, *o* ; le manchon suspendu à la tige de nickel *g* est protégé par une verrine *h*, calée d'une part contre le bord inférieur *p* de la cheminée, de l'autre sur une galerie entourant la chambre supérieure du bunsen. Des joints en amiante sont disposés en *i*.

Un tube *n*, alimentant une veilleuse, traverse le bunsen en vue d'assurer l'allumage sans qu'il soit nécessaire de démonter la verrine.

La section et la hauteur de la cheminée sont déterminées d'après le débit à réaliser sous une pression déterminée.

Des essais officiels effectués à Paris sur une lampe Lucas à manchon unique ont accusé les résultats ci-après :

PRESSION du gaz EN MILLIMÈTRES	CONSOMMATION horaire EN LITRES DE GAZ	INTENSITÉ horizontale EN CARCELS	CONSOMMATION SPÉCIFIQUE EN LITRES DE GAZ
56	645	67	9,6
75	739	77,5	9,5
78	780	70,8	11

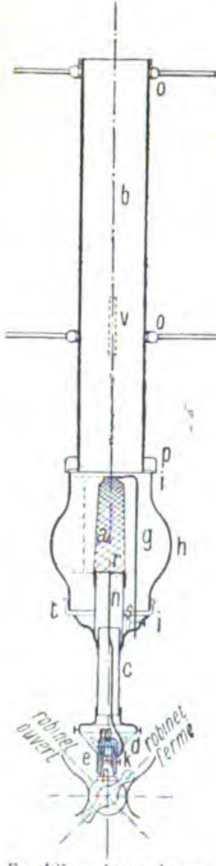


Fig. 125. — Lampe Lucas.

Les rendements obtenus sont très intéressants, si on considère surtout qu'ils sont réalisés avec un seul manchon.

L'inconvénient de la lampe Lucas réside dans l'encombrement créé par la cheminée de tirage; il est bon de noter que cet inconvénient n'existerait pas dans bon nombre d'applications, la cheminée pouvant être dissimulée dans des chapiteaux convenablement étudiés. Des applications très réussies de la lampe Lucas ont été faites, en 1902, pour l'éclairage de l'exposition de Lille. Des essais sont actuellement tentés à Paris pour l'éclairage public.

C. — FOYERS INTENSIFS A GAZ OU A AIR A HAUTE PRESSION

119. Lampe Scott-Snell. — On a cherché à améliorer les conditions de mélange de l'air et du gaz nécessaire à l'alimentation des brûleurs à incandescence, en élevant la pression des deux fluides d'air et gaz, ou de l'un d'entre eux seulement.

Dans la lampe Scott-Snell, le bunsen est alimenté par du gaz arrivant à la pression ordinaire de distribution; l'air, au contraire, est préalablement comprimé à 45 centimètres d'eau au moyen d'un dispositif mécanique disposé dans le dôme de la lanterne enfermant le brûleur. Ce mécanisme est constitué en principe par une soupape actionnée par la chaleur dégagée par le manchon incandescent.

L'air frais est aspiré par une crépine, puis dirigé, après compression, dans un tube qui le conduit à des orifices d'injection entourant l'éjecteur à gaz du bunsen.

Des essais faits au laboratoire de la Ville de Paris sur une lampe Scott-Snell munie d'un seul manchon ont accusé, pour une consommation horaire de 576 litres de gaz, une intensité de 61 carcels, soit environ 9 litres par carcel.

120. Lumière Boule. — Dans la « Lumière Boule » due à M. Salzenberg, c'est le gaz qui est comprimé à $1^{at},1$ au moyen d'une petite pompe à réfrigération et accumulé dans un réservoir spécial en tôle d'acier alimentant un groupe de 10 à 20 brûleurs. Par suite de la pression du gaz à sa sortie, le manchon a dû être renforcé, aussi sa carcasse est formée de trois capuchons en tissus très forts qui, après incinération, donnent une paroi imperméable. Sous la pression, ce manchon prend la forme d'une boule, d'où son nom. On le fixe sur le bec au moyen d'un filet de fils d'asbeste. Le brûleur est à deux courants d'air, l'un intérieur, l'autre extérieur, et le corps incandescent est formé de un ou deux manchons superposés enfermés dans une ampoule. Les graphiques de la figure 126, établis par M. Bunte, indiquent que les meilleurs résultats sont obtenus à la pression de 1,1 atmosphère et avec un double manchon. La consommation des brûleurs

est de 8 à 900 litres pour une intensité de 1.000 bougies.

Tous ces systèmes à fluide forcé ne paraissent présenter qu'un intérêt relatif, les sujétions qui accompagnent les mécanismes destinés à produire la surpression du fluide

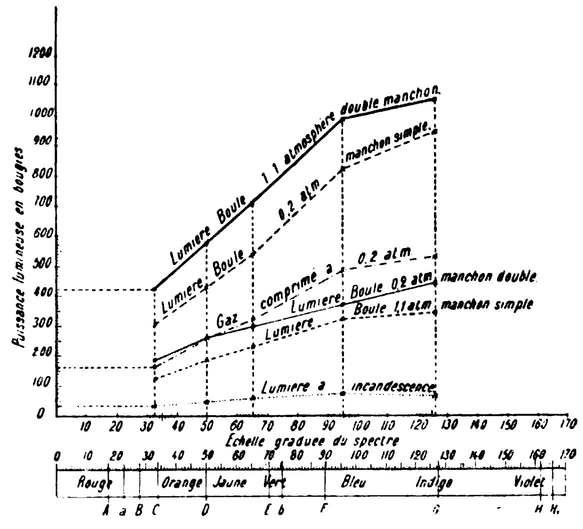


Fig. 126. — Diagrammes sur la lumière *Boule*.

n'étant pas toujours industriellement compensées par l'amélioration obtenue dans le rendement lumineux du brûleur.

L'économie obtenue dans la consommation de gaz n'est, en effet, que de 2 à 3 litres par carcel-heure, soit 15 0/0 environ de la consommation des becs ordinaires convenablement réglés.

Il convient d'observer, toutefois, que les brûleurs à gaz à air forcé permettent de réaliser des intensités lumineuses très élevées, près de 100 carcels avec un seul manchon, ce qui, en l'état actuel des conditions de fonctionnement des becs ordinaires à incandescence, n'est réalisable qu'avec un certain nombre de manchons; or on sait que, dans un foyer constitué par plusieurs manchons, la lumière obtenue n'est

pas égale à la somme des lumières élémentaires fournies par chaque manchon, ces derniers formant écran l'un par rapport à l'autre, selon les divers azimuts considérés; par suite, la consommation de gaz du foyer, rapportée à l'intensité lumineuse efficace, est supérieure à la consommation spécifique des brûleurs élémentaires pris isolément.

Ainsi, il a été reconnu, par des expériences photométriques directes, qu'un foyer constitué par 10 brûleurs intensifs à incandescence, débitant chacun 300 litres à l'heure et susceptibles de donner isolément 20 à 25 carcels, ne donnait dans son ensemble que 140 carcels, suivant l'horizontale.

La perte de lumière utile, due à l'obstacle formé par les manchons, était donc d'environ 35 0/0, ce qui ramène, en fait, la consommation spécifique du manchon utile à près de 20 litres par carcel-heure.

Des essais de même ordre effectués, en 1897, sur un faisceau de huit brûleurs Denayrouze, ont donné, comme rendement utile, la carcel-heure avec 38 litres, tandis qu'un des brûleurs essayé seul la donnait avec 26 litres (cet essai a été fait avec un foyer placé dans une lanterne fermée).

L'avantage de la lumière à incandescence par fluides forcés est donc marqué dans les foyers de grande intensité, et son emploi est, dès lors, spécialement indiqué pour l'éclairage des grands espaces, toutes réserves étant faites, bien entendu, relativement aux frais de premier établissement des engins de compression et, dans le cas de gaz forcé, d'une canalisation parfaitement étanche.

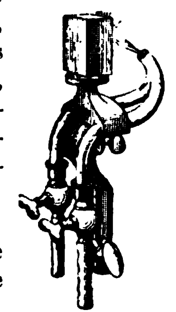


Fig. 127. Chalumeau oxyhydrique.

121. Lumière oxyhydrique. — C'est une lumière spéciale employée pour l'éclairage des projections. Dans la flamme très chaude, mais incolore, produite par l'inflammation d'un mélange de gaz et d'oxygène, est placé un bâton de chaux. Les gaz, amenés chacun par un conduit spécial, se réunissent à la sortie en un seul jet ou dard; l'ensemble de l'appareil constitue un chalumeau oxyhydrique (*fig.* 127). Un des tuyaux se branche sur la

conduite générale du gaz d'éclairage, l'autre est mis en communication avec un sac rempli d'oxygène. L'écoulement de l'oxygène est produit en exerçant une pression sur le réservoir élastique. Pour faire l'allumage, on commence par enflammer le gaz d'éclairage ; puis, peu à peu, on ouvre le robinet de l'oxygène et on règle le débit en examinant l'intensité projetée par l'appareil. La lumière obtenue est très intense. Avec une pression de 0m,18 pour l'oxygène et de 0m,03 pour le gaz, on obtient 400 bougies. On peut disposer cinq ou six jets autour d'un seul bloc de chaux.

Lorsqu'on n'a pas à sa disposition, du gaz d'éclairage, il faut recourir à d'autres substances. La flamme d'alcool sur laquelle on dirige un jet d'oxygène donne de très bons résultats. On peut se servir également d'éther à l'état liquide dans lequel on fait barboter un courant d'oxygène. L'appareil de M. *Molteni* (*fig.* 128), pour ce genre d'éclairage,

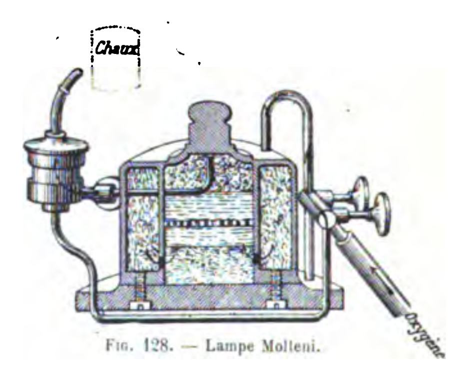


Fig. 128. — Lampe Molteni.

se compose d'un saturateur de forme cylindrique divisé en deux ou plusieurs compartiments remplis de matières absorbantes emmagasinant le liquide volatil. Sur ce réservoir se trouvent fixés le chalumeau et ses accessoires. Un tuyau de caoutchouc met en communication le réservoir d'oxygène avec un tube en forme de T, une des branches communique avec le saturateur, l'autre va directement au brûleur. Le gaz saturé est enflammé directement et brûle au contact de l'oxygène pur. Le débit des deux courants se règle au

moyen de robinets. Cet appareil, pourtant fort simple, donne une lumière plus intense que celle du chalumeau oxyhydrique. Les images obtenues sont très nettes à cause du dard très petit de la flamme ; mais il exige de grandes précautions.

§ 5. — Bruleurs a gaz carburé

122. Albocarbon. — Le gaz de houille devant être débarrassé d'un carbure très éclairant, la naphtaline, qui, sans cela, ne tarde pas à encrasser les conduits au moindre abaissement de température, on a imaginé de lui restituer ce carbure au moment précis de son emploi. Cet éclairage porte le nom d'albocarbon.

Dans ces brûleurs, la naphtaline est placée dans un réservoir spécial rempli aux deux tiers de cette substance qui commence à fondre à 79° pour se volatiliser à 218°, tout en émettant cependant des vapeurs à la température ordinaire. Aussi, le chauffage direct ne saurait être employé, la flamme serait trop riche en carbone et ne tarderait pas à fumer. L'évaporation est obtenue indirectement. Au-dessus des brûleurs (*fig.* 129), on place une plaque infusible reliée au réservoir par une tige métallique. Par conductibilité, on obtient un échauffement modéré des cristaux de naphtaline. Le gaz va au brûleur en passant au-dessus de la naphtaline où il se sature de cet hydrocarbure. On peut régler la quantité volatilisée en modifiant la surface de la lame au-dessus de la flamme. Le brûleur employé est du type manchester (n° 1) à trous très petits. La lumière de l'albocarbon est très fixe et très blanche ; la flamme, très petite, a l'inconvénient de dégager une odeur désagréable qui limite l'emploi de cet éclairage à quelques établissements spéciaux, — pharmacies, drogueries, etc., — c'est-à-dire, tous ceux où elle peut être atténuée par d'autres odeurs. Autour d'un même réservoir,

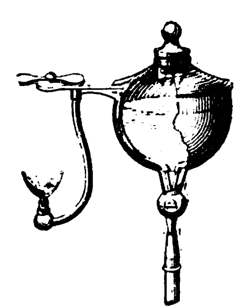


Fig. 129. — Bec albocarbon.

on peut disposer plusieurs brûleurs; on réalise ainsi des foyers plus puissants, tout en réduisant l'entretien, qui consiste simplement à renouveler la naphtaline vaporisée. Au lieu de gaz de houille, on peut employer des gaz pauvres, comme nous le verrons à l'article spécial des gaz carburés.

Le tableau ci-dessous donne le pouvoir éclairant de divers foyers albocarbon.

DÉBIT horaire	NOMBRE DE BECS manchester n° 1	INTENSITÉ en carcels	DÉPENSE HORAIRE par carcel	en naphtaline
500[l]	6	11,67	44[l]	8[gr],2
900	12	24	38	8
1030	12	27,09	38	8 ,2

CHAPITRE VIII

GAZ SPÉCIAUX

---

§ 1. — Acétylène

123. Principe de la fabrication. — Parmi les gaz d'éclairage obtenus avec d'autres substances que la houille, il convient de citer l'acétylène ; un des plus importants, bien que le plus récent. Sa fabrication industrielle est obtenue en décomposant par l'eau un composé spécial, le carbure de calcium, qu'il faut donc, à son tour, préparer d'une manière courante. Le procédé actuel pour obtenir le carbure de calcium consiste à fondre, au four électrique, un mélange de chaux et de charbon (56 parties de chaux et 36 de charbon pulvérisés). A la température élevée de 2 à 3.000°, le carbone décompose la chaux en donnant du carbure de calcium et de l'oxyde de carbone :

$$CaO + 3C = CaC^2 + CO ;$$

il suffit de faire passer le courant pour fondre le mélange ; l'oxyde de carbone se dégage en brûlant avec sa flamme bleue caractéristique. Le carbure liquide peut s'écouler directement ou être recueilli sous forme de pain à la fin de la préparation. L'arc peut être utilisé de différentes façons; aussi le nombre des fours est-il considérable. On les ramène à trois types principaux : fours à arc, fours à résistance et fours à résistance superficielle et incandescence.

124. Fours. — *Fours à arc.* — Le four type est le four de laboratoire *Moissan-Violle* (*fig.* 130). Il comporte deux briques de chaux bien dressées appliquées l'une contre l'autre. On fait jaillir l'arc électrique entre deux charbons horizontaux pénétrant par un canal ménagé dans le four jusqu'à la cavité creusée dans la brique inférieure et où l'on met la matière à traiter. L'arc n'agit que par la chaleur dégagée et n'intervient pas électrolytiquement ; aucune impureté n'est alors donnée par les électrodes.

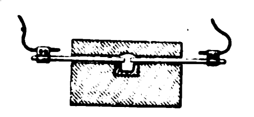


Fig. 130. — Four Moissan.

L'application industrielle de ce système a été faite dans les fours *Patin* et un certain nombre de fours allemands. Les électrodes sont placées dans une position inclinée et on peut les remonter dans une chambre en maçonnerie formant l'enceinte du four. La matière à traiter est placée autour de l'arc, on l'introduit par le haut du four. L'arc peut remonter au-dessus de la matière au fur et à mesure de la formation du carbure, ou inversement le carbure peut descendre. A la fin de l'opération, on retire un pain de carbure.

Dans le four à arc *Siemens*, le principe est différent, la matière à fondre est contenue dans un creuset dont les paroissont doublées d'une enveloppe isolante et dont le fond sert d'électrode négative. L'autre électrode est placée au-dessus du creuset, de manière à faire traverser la matière par l'arc jaillissant entre les deux. Le réglage de l'arc ne se fait plus à la main, comme dans le système précédent ; un solénoïde en dérivation produit le déplacement de l'électrode mobile.

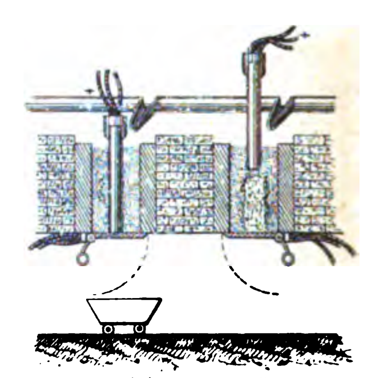


Fig. 131. — Four Bullier.

C'est à ce système qu'appartient le four industriel *Bul-*

lier (*fig.* 131). Il est à section carrée, les parois verticales sont en magnésie; le fond ou sole formant l'électrode négative est en fonte recouverte d'une couche de charbon. Elle est mobile autour d'un axe horizontal. L'électrode verticale mobile plonge dans la matière à traiter. A la fin de l'opération, on trouve un bloc de carbure qu'on fait tomber dans un wagonnet et on recharge à nouveau.

L'arc électrique, dont la longueur est de 30 à 40 millimètres, donne une température variable qui atteint son maximum au point où il jaillit. En ce point, la chaleur est trop considérable; il en résulte la dissociation du carbure ou sa volatilisation. On y remédie en adoptant plusieurs arcs; la chaleur est mieux répartie sur une plus grande étendue. Les fours de ce genre sont à trois (four Bertolus) ou quatre électrodes (four Gin et Leleux) et même davantage (four Nicolai), se déplaçant au-dessus de la sole et donnant, entre elles ou avec la sole, un nombre correspondant d'arcs. Il faut pouvoir obtenir le déplacement relatif des crayons et de la sole, ce qui oblige à rendre l'une des parties mobile. L'arc peut se mouvoir au-dessus de la matière à traiter au fur et à mesure de la formation du carbure ou inversement (*fig.* 132). Ce dernier procédé est préférable, car le déplacement de l'arc donne lieu à des irrégularités de température gênantes. La tension dans ces fours est de 50 à 60 volts. Ils ont comme avantage d'être simples de construction; la fabrication est facile; le carbure est recueilli à l'état solide; de cette façon, on laisse la réaction s'achever après la suppression du courant; le rendement en carbure est assez élevé, 75 à 80 0/0; de plus, la chaux et le charbon étant plus légers que le

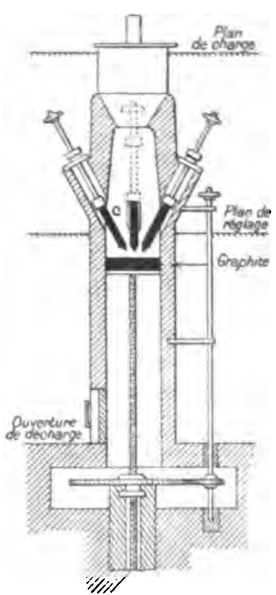


Fig. 132. — Fours à arcs multiples.

carbure remontent à la surface, d'où bonne utilisation de la chaleur. Par contre, ces fours ont comme inconvénients de donner lieu à un renouvellement fréquent des électrodes, la fabrication est le plus souvent discontinue et le réglage de l'arc difficile à obtenir.

Fours à résistance. — L'électrode n'est plus, comme dans le système précédent, au-dessus de la matière ; elle y plonge complètement; de cette façon il y a continuité, par le mélange à traiter, entre la sole et l'électrode. La grande résistance qui en résulte amène l'élévation de température nécessaire à la fusion de la matière qui s'opère alors tranquillement sans que les gaz soient soufflés. La tension adoptée n'est plus que de 20 à 25 volts, et la quantité de chaleur fournie ne dépend que de la densité du courant ; les électrodes employées ont une section considérable ; quelques-unes atteignent 0,800 de côté.

Le four type de ce système est celui d'*Heroult*, dénommé four de Froges, qui n'est autre qu'un bloc de graphite entouré d'un revêtement, en fonte et percé de deux orifices, un pour le chargement et l'autre pour la coulée. Le four est monté sur wagonnet de manière qu'une fois le carbure formé, on peut remplacer le wagonnet par un autre. Dans le four *Gin et Leleux*, beaucoup plus récent, l'électrode inférieure est constituée par deux blocs de carbone, avec isolant, et disposés de manière à concentrer la chaleur au trou de coulée ; dans ce but, les deux blocs sont réunis par un autre à faible section ; le tout est monté sur un wagonnet. L'électrode supérieure comporte plusieurs blocs en carbone très conducteur, entourés chacun par une masse de charbon aggloméré et recuit à 500°. On obtient ainsi une électrode à grande surface facile à refroidir. Le courant est amené des câbles aux blocs par des plaques serrées fortement contre eux, au moyen de coins et de boulons. Les gaz s'échappent dans une cheminée par des orifices qui arrêtent les poussières entraînées. On retire le carbure par coulée jusqu'au moment où l'électrode est suffisamment usée, auquel cas on termine par la production d'un bloc.

Les fours à résistance peuvent être à fabrication continue ;

mais ils nécessitent un réglage constant du courant par suite des variations de la résistance d'abord solide, puis liquide, augmentées encore par les dégagements de gaz. On se sert de préférence des courants alternatifs pour éviter l'action électrolytique du courant continu. Ils semblent exiger plus de chaleur que les précédents.

Fours à résistance superficielle et à incandescence. — Dans ce système de four, pour provoquer le passage du courant, il faut réunir les électrodes au début de l'opération par des conducteurs résistants quelconques, des morceaux de charbon, par exemple. Ces conducteurs, fortement chauffés, agissent directement sur la matière à traiter; la tension peut être portée à 80 et 100 volts.

A ce groupe appartient le four *Keller* (*fig.* 133), qui com-

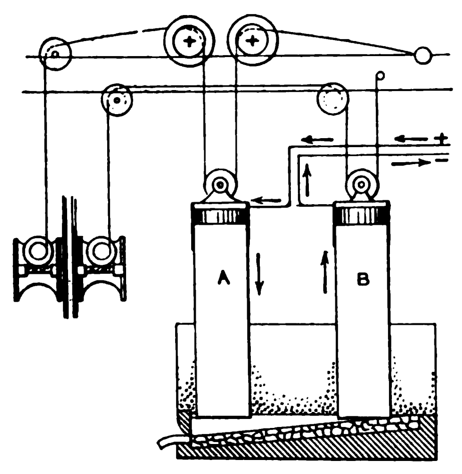


Fig. 133. — Four Keller.

porte deux électrodes A et B montées en tension, pouvant se mouvoir séparément chacune au moyen d'une moufle. La sole inclinée est formée par un massif de briques réfractaires recouvert d'un lit de charbon; l'orifice se trouve au point

bas de la sole. Le four étant vide, on fait passer le courant qui porte à l'incandescence le charbon de la sole ; à ce moment, on ajoute le mélange à traiter, et, au fur et à mesure de la formation du carbure, on soulève les deux électrodes. On peut à volonté élever l'une des électrodes et abaisser l'autre, pourvu que la tension totale soit constante ; de cette façon, au moment de la coulée, on augmente la résistance de l'électrode près de la sortie, de manière à avoir le maximum de température et par suite un carbure plus fluide. Les tensions sont indiquées par trois voltmètres : un pour chaque électrode et le troisième pour l'ensemble.

Les résistances auxiliaires ainsi disposées se consument rapidement, et à leur place il se forme un arc où le courant passe à travers la matière fondue. Dans les deux cas, le courant est très variable. Pour éviter cet inconvénient, on a imaginé, dans le four de la *Reduction Electric C°*, de disposer les résistances en carbone au-dessus de la matière à traiter. Elles sont réunies à des blocs de charbon fixés aux parois verticales du four constituant les électrodes. La résistance du courant, et par suite son intensité, étant constante, la température est très uniforme.

Courants. — On emploie tous les systèmes de courants : continus, alternatifs ou polyphasés. Les courants continus, dans le cas de fours à résistance, agissent non seulement par la chaleur, mais par électrolyse ; aussi leur préfère-t-on les courants alternatifs, qui n'ont pas le même inconvénient et sont avantageux au point de vue de la conservation des machines ; de plus les électrodes s'usent également. Dans le cas de courants continus et à sole en charbon, il faut choisir le charbon vertical comme électrode négative pour en diminuer l'usure.

Les fours sont montés en série ou en quantité, et les avantages ou inconvénients de ces dispositifs sont ceux inhérents à ces deux systèmes de montage ; on donne cependant la préférence aux fours en parallèle. Avec les courants polyphasés, on peut avoir autant d'électrodes que de phases, comme dans le four Bertolus, où trois électrodes sont réunies aux bornes de la dynamo, et le retour du courant se fait par

la sole. On peut également avoir autant de fours que de phases, chacun d'eux fonctionnant comme s'il n'y avait qu'un courant alternatif monophasé. Il convient d'observer, toutefois, que l'arc alternatif provoque un décalage du courant et par suite un abaissement de voltage considérable.

Comme tension, on a vu qu'on avait 20 à 25 volts pour les fours à arc, 50 à 60 volts pour ceux à résistance et 80 à 100 volts pour les derniers. Ces voltages relativement faibles amènent à avoir des conducteurs d'autant plus considérables que les intensités sont très élevées, couramment 5 à 6.000 ampères et quelquefois 10.000. La densité du courant doit être calculée exactement : trop forte, elle volatilise les corps et dissocie le carbure; trop faible, la chaux fondant plus facilement se mélange au carbure.

Les électrodes se font en charbon des cornues, anthracite ou coke de pétrole. La matière, aussi bien nettoyée que possible, est ensuite additionnée de goudron, et le mélange plastique est soumis à une pression progressant de 300 à 500 atmosphères. L'électrode obtenue, qui a sa forme définitive, n'a plus qu'à être séchée dans un four à 1.300 ou 1.400° pendant plusieurs jours.

Les fours à carbure dégagent une quantité de chaleur considérable; aussi cherche-t-on, par tous les moyens, à récupérer les chaleurs perdues, soit pour le chauffage de l'eau ou, plus simplement, pour celui de la chaux ou du charbon broyés et amenés par des vis ou des wagonnets au-dessus des fours avant leur introduction. Les fours sont continus ou discontinus ; les premiers ont été préconisés, parce que le rendement en carbure serait plus élevé, 80 à 90 au lieu de 75 à 80, du fait qu'on n'aurait pas besoin d'une température aussi élevée, 2.800 à 3.000° au lieu de 3.500 à 4.000°, pour obtenir la fluidité du carbure, et par suite arriver à la dissociation avec formation de 5 à 6 0/0 de calcium, diminuant d'autant la proportion du carbure. Le rendement journalier des fours est de 6 à 8 kilogrammes de carbure par kilowatt-jour, soit 2 à 3 kilowats-heure par kilogramme de carbure.

125. Propriétés du carbure de calcium. — Le carbure de

calcium pur est un corps solide, d'un gris noirâtre mordoré, d'odeur forte. Sa densité est 2,2; il renferme 62,5 de calcium, 37,5 de carbone ; il est très clivable. Sa formation est endothermique ; l'absorption de chaleur est de 0^{cal},55. Insoluble dans les divers réactifs : pétrole, benzine, il est attaqué par les acides, le chlore, le soufre ; mais c'est surtout au contact de l'eau que sa décomposition est rapide; il suffit de projeter dessus quelques gouttes d'eau pour obtenir une vive effervescence avec dégagement d'acétylène et formation de chaux.

$$CaC^2 + 2H^2O = CaO, H^2O + C^2H^2.$$

Au rouge sombre, l'attaque est moins vive; il se forme, en effet, une couche de carbonate qui limite l'action de la vapeur. La décomposition complète de 1 kilogramme de carbure nécessite 560 grammes d'eau; elle donne 340 litres d'acétylène et 1.156 grammes de chaux hydratée ; mais généralement le carbure renferme de la chaux ou du carbone en excès, et le rendement en acétylène n'est plus que de 290 à 300 litres. Le charbon en excès donne au carbure la forme d'une masse graphiteuse très friable; la chaux, au contraire, est mélangée à l'état cristallisé. On a intérêt, bien que le rendement en gaz se rapproche du maximum avec le charbon en excès, à avoir, pour améliorer le fonctionnement des fours, un peu plus de chaux par suite de la plus grande facilité de fusion du carbure.

Comme charbons pour la fabrication du carbure, on se sert d'anthracite ou de coke à 5 ou 6 0/0 de cendres ; le carbonate de chaux employé contient de 90 à 99 0/0 de chaux. Malgré tous les soins apportés au choix des matières premières, elles renferment des corps étrangers qui passent dans le carbure et par suite dans l'acétylène. On trouv dans le carbure, du silicium à l'état de siliciure de carbone sous forme de cristaux hexagonaux verts ou bleus et d siliciures métalliques; la présence de l'hydrogène silicié dan l'acétylène n'est pas nettement déterminée. Le soufre s'y rencontre à l'état de sulfure de calcium ou de sulfure d'aluminium, qui proviennent des sulfates et du silicate d'alumine

de la chaux; le sulfure d'aluminium donne seul de l'hydrogène sulfuré au contact de l'eau ou de la chaux. Mais l'impureté la plus gênante est le phosphure de calcium spontanément inflammable au contact de l'eau. Enfin, on y trouve de petites sphères à cassures métalliques contenant du fer, du carbone et du silicium; le fer se combine quelquefois au silicium et au carbone pour former du silicocarbure de fer.

L'affinité du carbure pour l'eau est telle que, même à l'air humide, il se décompose tout au moins superficiellement. De même, l'eau absorbée par la chaux qui se forme pendant l'attaque du carbure suffit pour continuer la décomposition de ce corps. C'est pour éviter l'action continue de l'eau qu'on a imaginé divers enrobements du carbure. Le plus simple, mais le moins efficace, consiste à le plonger dans une substance hygroscopique comme l'huile ou le pétrole. On peut également, comme le fait M. Létang, l'entourer de glucose; le carbure concassé est plongé dans une solution chaude et concentrée de glucose. Cette substance a comme avantage non seulement de préserver le carbure, mais encore, au fur et à mesure de la formation de la chaux, elle se combine avec pour former du sucrate de chaux plus ou moins soluble suivant la quantité de glucose. Le mélange ainsi constitué a reçu le nom d'*acétylithe*. Un autre mode d'enrobement consiste à plonger le carbure lorsqu'il est encore pâteux dans un mélange de goudron et de pétrole lourd; le produit obtenu constitue l'*orlyte*, qui renferme environ 4 0/0 d'huile minérale; l'avantage de ce procédé serait d'enrichir de carbures éclairants l'acétylène produit, dont la quantité serait de 300 à 310 litres par kilogramme de carbure.

On pourrait croire que l'enrobement a pour effet de retarder l'attaque de l'eau; il n'en est rien; dès qu'elle est commencée en un point du carbure, elle se continue sur toute la masse; son principal avantage est surtout de faciliter le transport du carbure, qui craint moins l'humidité.

126. Fabrication de l'acétylène. — Les appareils servant à la fabrication de l'acétylène sont très nombreux, depuis ceux qui servent à l'obtenir à basse pression jusqu'à ceux éta-

blis en vue de fabriquer de l'acétylène liquide; mais, en pratique, il n'y a guère que les premiers qui soient utilisés. On les divise en trois grandes classes, caractérisées chacune par la manière de mettre en contact l'eau et le carbure :

1° Appareils à chute de carbure dans l'eau;
2° Appareils à chute d'eau sur le carbure;
3° Appareils à contact.

Appareils à chute de carbure dans l'eau. — On emploie soit du carbure granulé, soit du carbure tout venant; les appa-

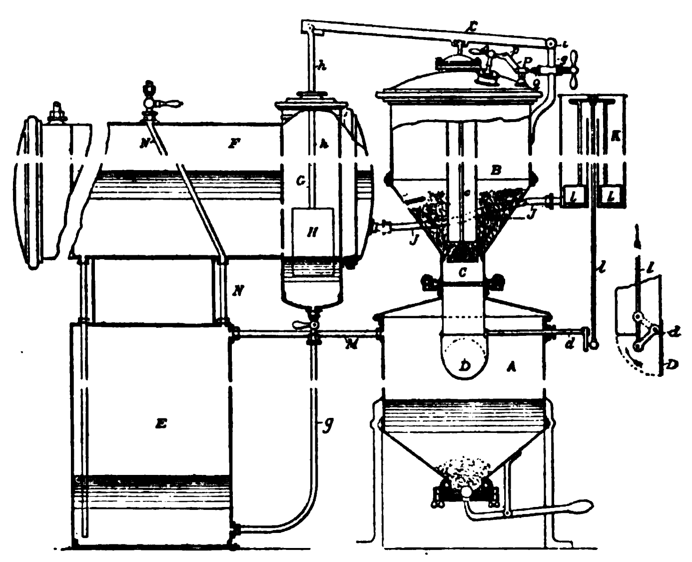


Fig. 134. — Appareil Ackermann.

reils sont un peu différents suivant le cas. Parmi les différents systèmes, on peut citer l'appareil *Ackermann* à chute de carbure granulé. Il se compose d'un gazogène et d'un régulateur de production. Le gazogène est formé de deux réservoirs superposés (*fig.* 134); celui du bas, A, contient l'eau nécessaire à la décomposition du carbure, et celui du haut, B, le carbure granulé; ils sont reliés par une conduite fermée par une soupape C, dont les mouvements sont obtenus par

le régulateur. Ce dernier est formé également de deux récipients superposés E, F communiquant entre eux par *g*, et d'un cylindre G placé dans le réservoir supérieur et contenant un flotteur H relié à la soupape réglant la chute du carbure. Lorsque le flotteur est au bas de sa course, la soupape abaissée laisse tomber le carbure dans l'eau. Le gaz formé se rend par M dans le récipient E, d'où sa pression fait remonter l'eau dans le réservoir supérieur et dans le cylindre du flotteur. Celui-ci soulève, par *hc*, la soupape et arrête tout échappement de carbure. Il y a à craindre cependant qu'un morceau de carbure, engagé sous la soupape, en empêche la fermeture; d'où écoulement continu de la matière et par suite surproduction du gaz. L'inconvénient est évité au moyen d'un appareil de sûreté formé par un second flotteur K actionnant, par l'intermédiaire des tiges *l*, *d*, un clapet D, placé sous la soupape C. Lorsque la pression du gaz dépasse une certaine limite au point de faire refouler l'eau de F dans L par J, le flotteur K et, par suite, la soupape D, sont actionnés. Il y a arrêt complet, jusqu'à ce que le gaz qui va par N aux brûleurs ait sa pression diminuée. L'appareil se complète des organes nécessaires au remplissage, P, *p*, et à la vidange des différents récipients.

Tous les appareils de ce groupe sont basés sur le même principe; c'est-à-dire que l'échappement du carbure est réglé par une soupape dont les mouvements sont commandés par une cloche ou flotteur mue par le gaz produit.

Les gazogènes à carbure tout venant sont établis sur un principe différent. Il s'agit d'envoyer dans un récipient d'eau une quantité déterminée de carbure, toujours la même, à des intervalles variables avec la consommation. Tel est le cas du *générateur Pintsch* (*fig.* 135) où le carbure est contenu dans un distributeur B à deux compartiments, auquel il suffit d'imprimer un mouvement de rotation autour de l'axe X pour projeter, par la trémie D, les 2 kilogrammes de carbure d'un compartiment dans la cuve à eau A en tôle galvanisée. La matière tombe sur une grille qu'on peut remuer de l'extérieur pour faire descendre la chaux. Le gaz s'échappe par C et le trop-plein de l'eau par la garde hydraulique S. L'inconvénient de cet appareil très simple est de nécessiter une manœuvre

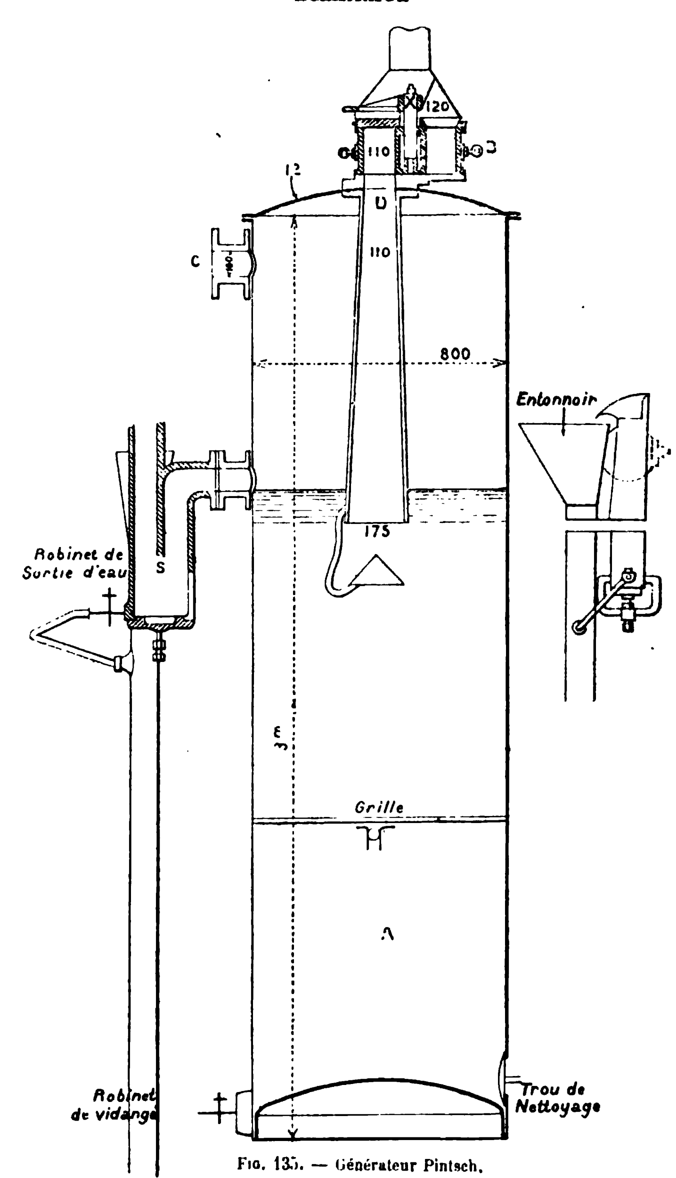


Fig. 135. — Générateur Pintsch.

toutes les fois qu'on veut produire une nouvelle quantité de gaz.

Aussi, très souvent, le carbure est contenu dans de petites boites, qu'un mécanisme, mû par la cloche d'un gazomètre, fait basculer automatiquement dans l'eau du gazogène. C'est ainsi que, dans l'appareil *Besnard*, le carbure est contenu dans des boules sphériques, au nombre de quinze, disposées dans des cuvettes entourant l'appareil. Ces boules, percées d'un trou seulement, sont précipitées l'une après l'autre dans l'eau du gazogène, à chaque descente de la cloche du gazomètre. A cet effet, la cloche est guidée par une tige centrale et tourne au moyen d'un dispositif spécial de plan incliné, qui permet à un levier de pousser, à tour de rôle, chacune des boules dans le gazogène. La capacité de la cloche est supérieure à la production maximum du gaz produit par chaque boule.

Il existe encore bon nombre de ces appareils; ils ne diffèrent entre eux que par la manière de produire automatiquement la chute du carbure tout venant.

Les appareils à chute de carbure dans l'eau ont l'avantage de produire le gaz à froid et, par suite, d'éviter la polymérisation de certains carbures; par contre, ce sont les plus compliqués.

Appareils à chute d'eau sur le carbure. — On peut faire tomber directement l'eau sur le carbure ou l'envoyer par en dessous; les appareils sont différents suivant le cas. Comme générateurs du premier genre, on peut citer l'appareil de la *Société du gaz acétylène.* Son principe repose sur l'équilibre de pression qui s'établit entre deux vases communicants. Le gazogène, en tôle galvanisée, est plongé dans une cuve de même nature remplie d'eau ; il est en deux parties (*fig.* 136), réunies au moyen de vis serrées par des écrous à oreilles.

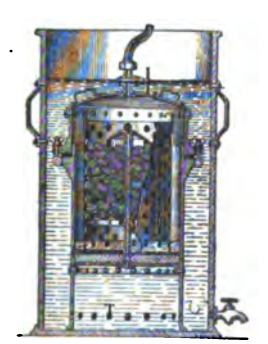


Fig. 136. — Appareil de la Société du gaz acétylène.

L'eau pénètre dans le bas par des trous d'admission, monte dans le tube du milieu et, arrivée à l'extrémité supérieure, se déverse sur un panier rempli de carbure. L'échap-

pement du gaz a lieu par un tube central communiquant avec le gazomètre. On comprend aisément qu'on puisse régler le dégagement à la pression que l'on désire ; il suffira, pour cela, d'abaisser plus ou moins le tube d'ascension pour que le déversement de l'eau ait lieu à une pression plus ou moins élevée. On admet généralement, comme valeur de la pression, 0m,20.

Parmi les générateurs dont l'attaque du carbure se fait par nappe d'eau ascendante, on peut citer l'appareil *Deroy* (*fig.* 137). Il se compose d'un certain nombre de générateurs

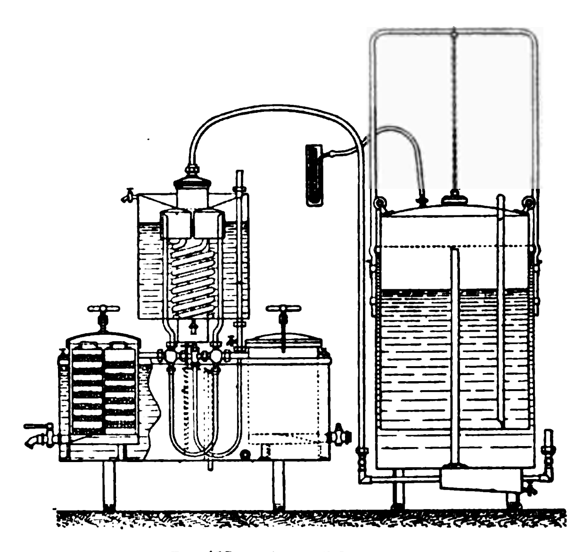


Fig. 137. — Appareil Deroy.

dans lesquels le carbure est réparti en un ou plusieurs paniers formés de casiers, disposés de façon que l'attaque du carbure s'opère successivement par l'ascension de l'eau d'un casier à l'autre.

L'arrivée de l'eau est provoquée par un poids additionnel qui est soulevé par la cloche du gazomètre lorsqu'elle remonte. Tant que le poids repose sur la cloche, l'eau reste

à quelques millimètres au-dessous du point de déversement, maintenue par la pression du gaz dans le gazomètre. Quand la cloche baisse, la pression du gaz augmentant fait remonter le niveau de l'eau qui s'écoule dans le générateur en service. Il résulte de ce dispositif que la mise en marche et l'arrêt se font automatiquement, à l'allumage et à l'extinction des becs, sans qu'on ait besoin d'aller à l'appareil.

Le gaz, produit dans l'un des générateurs, gagne, par un tuyau ascendant greffé sur une nourrice, la boîte de détente placée dans le réservoir d'eau, puis descend dans un serpentin de condensation, dont l'extrémité plonge dans un laveur où le gaz barbote, pour ensuite s'élever dans un épurateur et, de là, passer au gazomètre, qui sert surtout de régulateur de pression et emmagasine, à l'arrêt, la petite quantité de gaz se dégageant du dernier casier attaqué.

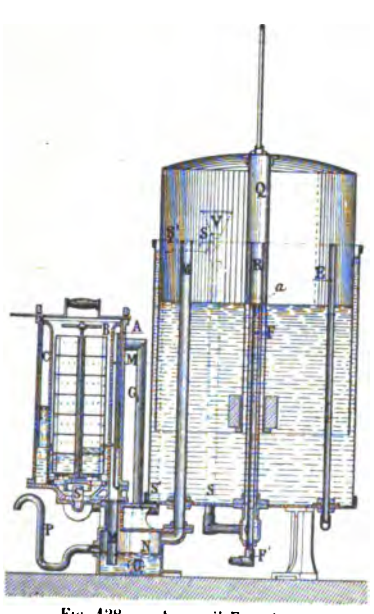


FIG. 138. — Appareil Fourchotte.

Lorsqu'un générateur est épuisé, le second est mis automatiquement en marche par l'eau du trop-plein du premier générateur qui arrive par un tube en U réunissant les nourrices de deux générateurs voisins. C'est seulement quand on a à décharger les résidus épuisés d'un des générateurs que l'arrivée d'eau est détournée sur le générateur à mettre en service. Il n'y a qu'un seul robinet de manœuvre, celui d'arrivée d'eau, reliée au réservoir d'alimentation, qui peut rester constamment ouvert soit sur l'un, soit sur l'autre des générateurs, de façon à être prêt à fonctionner.

Lorsqu'un générateur est en service, on peut, sans danger de fuites de gaz, en ouvrir un autre, la communication entre le générateur ouvert et le gazomètre s'obstruant automatiquement par le refoulement d'une partie du liquide du laveur remontant dans le serpentin de condensation, en raison de la pression inverse du gazomètre, qui agit sur la surface de l'eau dans laquelle plonge l'extrémité du serpentin.

C'est à cette catégorie qu'appartient également l'appareil *Fourchotte*, caractérisé par l'absence complète de robinets. Le gazogène (*fig.* 138) est formé de deux cylindres concentriques A et B, entre lesquels circule un courant d'eau formant joint hydraulique et refroidissant le gaz produit. Le seau qui contient le carbure est divisé en une série de compartiments, de manière à rendre plus lente l'attaque par l'eau.

Le gazomètre comporte une cloche réglant automatiquement la production du gaz. A cet effet, elle porte un tube Q, muni d'ouvertures *a*, télescopant sans frottement sur un deuxième tube R fixé à la cuve et communiquant avec un conduit vertical SS relié lui-même, par un tube horizontal, avec le tuyau d'amenée d'eau au générateur S'S'. Le tuyau horizontal SS' est au-dessus du niveau de l'eau. Le fonctionnement est, dès lors, facile à expliquer.

Tant que les ouvertures *a* sont au-dessus de l'eau, la pression est la même sous la cloche et dans le tube Q, c'est-à-dire un peu supérieure à la pression atmosphérique ; par suite, l'eau ne monte dans le tube SS qu'un peu au-dessus du niveau de la cuve. Si, au contraire, la cloche s'abaisse, les trous *a* sont obstrués et la pression s'élève en Q suffisamment pour faire monter l'eau jusqu'en S'S', de manière à l'envoyer dans le gazogène; il y a dégagement d'acétylène par M et, par suite, ascension de la cloche.

Le gazomètre est à courant d'eau continu; dans ce but, le tube R entoure un second tube F qui sert de trop-plein. L'eau, coulant constamment par V en mince filet, s'échappe par F, d'où elle se rend au joint hydraulique du gazomètre et de là au barillet N par l'intermédiaire du tube G. L'excès d'eau du barillet s'échappe par un tube de trop-plein P qui maintient le niveau constant.

Il existe encore un grand nombre d'appareils à chute d'eau sur le carbure ; mais leur principe se rapproche de celui des générateurs décrits.

Appareils à contact. — On désigne sous ce nom des générateurs dont l'eau vient en contact, par intermittence, avec le carbure, l'eau pouvant être refoulée par la pression même du gaz ou le carbure être retiré automatiquement du liquide, lorsque le gaz produit a atteint un certain volume.

Dans les appareils de la *Compagnie urbaine d'éclairage par l'acétylène*, le gazogène est formé par deux cuves concentriques (*fig.* 139).

La cuve intérieure est munie, à sa partie inférieure, d'orifices permettant le passage de l'eau d'un cylindre dans l'autre.

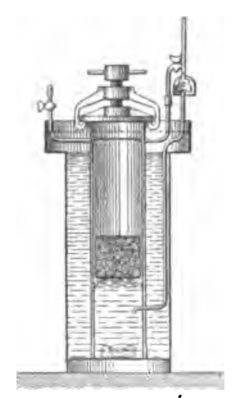


Fig. 139. — Appareil de la Compagie urbaine d'éclairage.

Le gaz s'échappe par un robinet placé à la partie supérieure d'un tube latéral et se rend dans la distribution. Un autre conduit débouchant dans l'atmosphère, et muni d'un robinet, permet de chasser l'air resté enfermé dans l'appareil au moment du chargement.

Pour éviter la surproduction, il existe un tube de sûreté débouchant dans une petite boîte cylindrique solidaire du tube allant à l'air libre. Le rôle de ce tube est de permettre au gaz, au cas où une chute accidentelle des morceaux de carbure se produirait, de s'échapper au dehors.

Le fonctionnement de cet appareil se comprend aisément : lorsque la consommation du gaz diminue, la pression à l'intérieur du gazogène augmente et refoule l'eau dans la cuve extérieure, le carbure n'est plus attaqué. Si, au contraire, la consommation augmente, la pression baisse, l'eau remonte dans la cuve intérieure et l'attaque recommence.

Les générateurs du second type, où le carbure est éloigné de l'eau quand la production du gaz est très intense, sont formés, le plus souvent, par un gazomètre dont la cuve reçoit

l'eau nécessaire à la décomposition du carbure, et la cloche, le panier contenant le carbure, de manière que ce dernier suive la cloche dans ses oscillations. Dans le générateur *Letang-Serpollet* (*fig.* 140), on a un réservoir cylindrique à base conique, fermé, à sa partie inférieure, par un tampon, et dans le haut, par un couvercle à joint hermétique. Une cloche pouvant monter et descendre dans le réservoir rempli d'eau supporte le panier à carbure maintenu en place contre les montants par des mentonnets à ressort. Le gaz, au fur et à mesure de sa production, se rend par l'intermédiaire d'un tube en V à la canalisation générale.

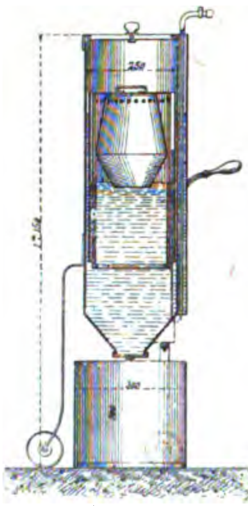


Fig. 140. — Appareil Letang-Serpollet.

Le résidu de la décomposition est recueilli dans un seau qu'on roule sous le cylindre principal. Pour empêcher que le carbure humide ne se décompose trop rapidement, on emploie du carbure enrobé de glucose ou acétylithe; avec 5 kilogrammes de carbure, on produit 1^{m3},35 de gaz sans avoir à toucher à l'appareil. Ces générateurs, comme la plupart de ceux de même catégorie, sont portatifs et s'emploient pour l'éclairage de voitures-tramways.

En dehors de leur simplicité, les appareils à contact, surtout ceux à refoulement d'eau, ont l'inconvénient de donner lieu à une attaque continue du carbure pouvant occasionner une surproduction qui nécessite des appareils de sûreté ou des gazomètres fort volumineux, si on ne veut pas perdre le gaz.

Épuration de l'acétylène. — L'acétylène se trouve presque toujours mélangé à un grand nombre de gaz étrangers provenant des impuretés que renferme le carbure de calcium. Quelques-uns de ces corps étrangers, comme le car-

bure d'aluminium, qui, au contact de l'eau, se décompose en méthane et alumine, donnent des composés utiles ; mais la plupart sont nuisibles, en particulier les hydrogènes phosphoré, sulfuré ou arsénié et l'ammoniaque. Outre l'inconvénient de donner au gaz une odeur forte et désagréable, ils ont celui de diminuer le pouvoir éclairant, d'encrasser les brûleurs et de former une buée blanche autour de la flamme, comme une sorte de halo.

On a donc intérêt à débarrasser l'acétylène de ces impuretés, sinon complètement, tout au moins en partie. Le fait que le gaz se produit au contact de l'eau et se rend dans une cuve de gazomètre permet à une partie de ces produits de se dissoudre dans l'eau. A ce point de vue, les appareils à chute de carbure dans l'eau sont très avantageux, à la condition de renouveler l'eau, s'il est possible. On peut, pour l'épuration plus complète, utiliser tous les systèmes employés en pareil cas et en particulier ceux qu'on adopte pour le gaz d'éclairage ordinaire : c'est-à-dire faire passer le gaz sur de la chaux et de l'oxyde de fer, qui retiennent l'hydrogène sulfuré et l'ammoniaque ; on y ajoute de la pierre ponce imbibée de sulfate de cuivre qui absorbe l'hydrogène phosphoré. On a essayé le chlorure de chaux seul, plus économique, mais il a l'inconvénient de s'altérer rapidement et de former des grumeaux empêchant la circulation du gaz. On se sert également de solutions acides (acide chromique dissous dans l'acide sulfurique) qu'on mélange à des substances poreuses, comme de la silice pulvérulente.

Dans ces dernières années, on a imaginé de faire de toutes pièces une substance épurante, qui contient de l'hydrate de chaux, pour l'acide sulfhydrique, et du chlorure de calcium, pour l'ammoniaque. Ce mélange, qui se présente sous la forme d'une substance très poreuse, est désigné sous le nom de *puratylène*.

127. Dimensions à donner aux appareils de fabrication. — Étant donné le nombre des brûleurs à alimenter et leur durée d'éclairage, il est facile d'en déduire la quantité de gaz à produire, soit pour le fonctionnement d'une soirée, ou de plusieurs, s'il y a lieu. Il faut éviter, en tout cas, d'avoir à

renouveler la charge de carbure pendant la marche. Si l'on prend comme rendement 300 litres d'acétylène par kilogramme de carbure, on aura le poids de la matière première nécessaire.

Dans le cas d'appareils à *chute de carbure* tout venant dans l'eau, la cloche du gazomètre devra pouvoir recevoir au moins le volume dégagé par le poids P en kilogrammes de carbure précipité à chaque fois dans l'eau, soit 300P litres; comme il faut tenir compte de l'eau vaporisée, de la qualité du carbure pouvant se rapprocher du rendement théorique 340 litres, on pourra prendre 350P à 400P. On est allé jusqu'à doubler ce volume, ce qui paraît un peu exagéré. Le volume de la cuve devra être égal à celui de la cloche, plus l'espace nécessaire pour le déplacement de celle-ci. Quant au rapport du diamètre à la hauteur, il devra être choisi de manière à permettre la stabilité de la cloche, tout en donnant au diamètre une valeur assez réduite pour ne pas exagérer la place occupée en plan par l'appareil. Le volume du gazogène est facile à déterminer en remarquant que le poids P doit être réparti en un certain nombre de boîtes et que la cuve du générateur doit contenir une quantité d'eau égale, à raison de 560 grammes théoriques d'eau par kilogramme de carbure, à $700 \times P$ pratiquement, pour tenir compte des pertes par évaporation. On remarque, en outre, que la chaux résidu de la fabrication, tombe dans la cuve du générateur et qu'un kilogramme de carbure donne $1^{kg},156$ de chaux hydratée, dont la densité est de 1,30 à 1,40; il n'y aura pas lieu d'augmenter la cuve du générateur de ce fait; il faut lui donner, toutefois, une forme tronconique pour que la chaux se rassemble bien dans le fond et n'émerge pas au-dessus de l'eau.

Dans les appareils à *chute d'eau sur le carbure*, le volume des appareils est beaucoup moindre, le générateur ne devant être établi que pour la quantité de chaux produite, soit 1,156P à répartir en un ou plusieurs paniers. L'eau à fournir est généralement à courant continu, mais il est très facile de déterminer très exactement la quantité nécessaire. Quant au gazomètre, lorsqu'il existe, on le fait moins grand que précédemment; cependant, il faut que la cuve contienne un

volume suffisant de liquide pour que le gaz qui arrive encore chaud puisse se refroidir; les appareils où l'eau du gazomètre est renouvelée d'une manière continue sont préférables. La cloche du gazomètre doit satisfaire aux conditions de sensibilité des cloches de régulateur ordinaires pour maintenir aussi fixe que possible la pression aux brûleurs.

Avec les appareils à *contact*, on a l'encombrement minimum. On peut déterminer les dimensions limites en se basant sur les observations suivantes. Dans les appareils à refoulement, le plan d'eau le plus bas, auquel on puisse descendre, doit pouvoir encore atteindre la partie la plus haute du panier à carbure, qui est la dernière attaquée ; le plan d'eau le plus élevé doit être tel que, tout le carbure décomposé, le gaz comprimé ne puisse s'échapper par le bas à moins d'avoir prévu des appareils de sécurité. Dans ceux à cloche, le volume de cette dernière doit être au moins égal au volume de gaz dégagé par tout le carbure décomposé ; celui de la cuve s'en déduira également si on tient compte de la condition que, tout le carbure étant décomposé, le niveau de l'eau atteindra le point le plus haut du panier.

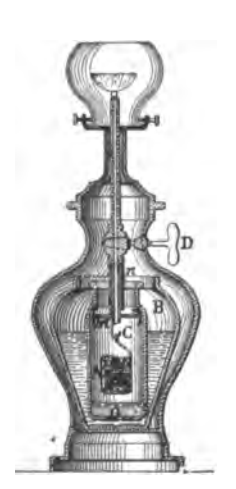


Fig. 141. — Lampe Trouvé.

128. Lampes portatives. — *Appareils à contact.* — L'acétylène est utilisé à l'éclairage domestique et à celui des voitures et automobiles au moyen de lampes portatives auxquelles on a appliqué le principe des appareils fixes. La plupart sont cependant analogues aux générateurs à contact. On peut citer comme type la lampe primitive de *Trouvé* (*fig.* 141), dont les autres semblent être dérivées.

Le carbure est contenu dans un seau en toile métallique A et distribué en plusieurs couches séparées par des lames de verre. Le seau est renfermé dans une bouteille C dont le bou-

chon hermétique laisse passer le tube de dégagement ; le fond est percé d'un orifice O par où pénètre l'eau. Cette bouteille, à son tour, est adaptée dans un troisième vase B contenant l'eau nécessaire à l'attaque du carbure. Pour mettre en marche, il suffit d'ouvrir le robinet D, l'eau arrive jusqu'au carbure et l'attaque ; il y a production de gaz ; la pression, augmentant, chasse l'eau de la bouteille D et la fait remonter dans B. Pour arrêter les gouttes d'eau entraînées par le gaz dans la bouteille C, on dispose un plateau métallique *m* et deux tubes concentriques taillés en sifflet *n*. Le tube intérieur est percé de petits trous pour laisser passer le liquide.

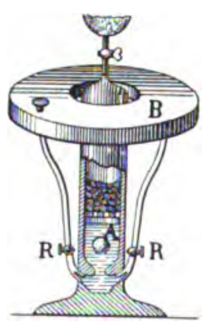


Fig. 142. — Lampe Cerckel.

Dans un grand nombre de ces lampes analogues, Blériot, Serpollet-Letang, on emploie du carbure enrobé; dans celle de la Compagnie urbaine d'éclairage, on ajoute une couche de pétrole sur l'eau pour modérer l'attaque de celle-ci.

Dans la lampe *Cerckel* (*fig.* 142), la pression sur l'eau, au lieu de la chasser directement, agit sur une bille formant soupape et interceptant toute communication entre le réservoir à carbure A et celui à eau B par l'intermédiaire des tubes avec robinet R. La lampe *Frossard* a un principe analogue, sauf que l'eau arrive goutte à goutte sur le carbure. Du reste, un grand nombre de lampes sont munies de tubes capillaires et même de mèches pour amener l'eau au carbure.

Appareils à chute de carbure. — Plus compliqués, ils sont forcément moins nombreux. On peut prendre comme exemple la lampe *Claude et Hess* (*fig.* 143). Le carbure est contenu à l'état pulvérulent dans un réservoir V tronconique fermé dans le bas par une soupape. Cette dernière est solidaire d'une tige *t* reliée à une membrane I maintenue par le couvercle extérieur de la lampe. La membrane est soumise, d'une part, à la pression d'un ressort *a* et, de l'autre, à celle du gaz ; suivant les variations de la pression, la membrane se déplace dans un sens ou dans l'autre, entraînant

dans ses mouvements la tige *t* et, par suite, la soupape d'écoulement du carbure. La membrane doit être assez large pour suivre exactement les variations de pression et rendre l'écoulement du carbure très régulier. Le gaz pur se dégage tout autour du récipient à carbure. Le réservoir a, en outre, l'avantage d'être facile à nettoyer.

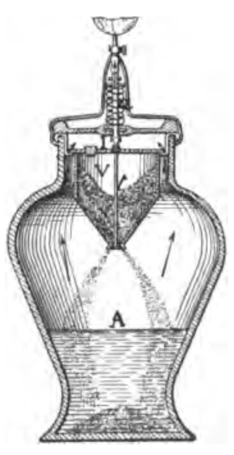


Fig. 143.
Lampe Claude et Hess.

129. Propriétés de l'acétylène. — *Propriétés physiques.* — L'acétylène C^2H^2 est un gaz incolore, d'une odeur fortement alliacée, renfermant en poids 92,3 de carbone et 7,7 d'hydrogène. Sa densité, par rapport à l'air, est de 0,910, et le poids d'un litre, à 0° et 760 millimètres de pression, est de $1^{gr},17$. L'acétylène se dissout dans un très grand nombre de substances : l'eau peut en absorber à peu près 1 fois son volume, l'alcool 6 fois; mais le dissolvant par excellence est l'acétone, qui, à 15° et par kilogramme de pression absolue, en dissout 24 fois son volume, soit 28 grammes par litre initial d'acétone et par kilogramme de pression ou 35 grammes par kilogramme d'acétone; la quantité absorbée croît à peu près proportionnellement à la pression entre 0° et 35°, et le volume d'acétone s'accroît de 4 centigrammes par kilogramme de pression.

L'acétylène se liquéfie facilement par le froid et la pression. A — 70°, une pression de $2^{atm},22$ est suffisante (Villard); à 0°, la pression atteint $26^{atm},05$, son point critique à + 38° correspond à une pression de 68 atmosphères. L'acétylène liquide est extrêmement réfringent; très léger, sa densité rapportée à l'eau varie de 0,310 à 0,460 pour les températures comprises entre + 38° et — 7°; le coefficient de dilatation est très élevé; en se solidifiant, il se contracte fortement; son volume est alors moitié de celui à 0°.

Propriétés chimiques. — L'acétylène prend naissance dans un grand nombre de circonstances : lorsqu'on chauffe au rouge des vapeurs d'alcool, de benzine ou de pétrole, dans la combustion incomplète des matières organiques, en décomposant le cyanogène par l'arc électrique en présence de l'hydrogène et enfin lorsqu'on soumet ses éléments, carbone et hydrogène, à l'influence de l'étincelle électrique. L'absorption de chaleur pour cette synthèse est de $60^{cal},5$ (Berthelot) ; c'est donc un corps endothermique.

Soumis à l'action de la chaleur, il se décompose en donnant d'abord des produits polymères, ce qui explique pourquoi on doit éviter l'échauffement du gaz pendant sa formation ou sa combustion. En effet, dès que la température atteint 66°, il se convertit en benzine (C^6H^6), puis, à mesure que la température s'élève, en styrolène (C^8H^8) ; ces deux produits réagissant l'un sur l'autre donnent de la naphtaline, de l'anthracène et de la dinaphtyle, carbures lourds qui apparaissent sous forme de vapeurs brunes ou de goudrons ; au rouge vif, la décomposition est complète. L'étincelle électrique a un effet analogue à celui de la chaleur. Lorsqu'on chauffe le gaz dans un vase clos, la dissociation n'est complète que lorsque le gaz est comprimé à plus de 2 kilogrammes (Vieille).

Les oxydants, comme le permanganate de potasse, l'acide chromique, le transforment en acide oxalique ou acétique ; avec le chlore, on obtient deux chlorures différents. Les acides sulfurique, cyanhydrique se combinent avec l'acétylène pour donner naissance à des composés spéciaux.

L'acétylène est sans action sensible sur les métaux à l'état ordinaire ; mais, quand on fait passer un courant de ce gaz dans une dissolution ammoniacale d'un sel de cuivre au minimum, il se forme un précipité marron d'oxyde de cuivre et d'acétylène. C'est le réactif par excellence de l'acétylène ; on peut de cette façon en déceler un deux centième de milligramme dans de l'hydrogène. Mais, d'après M. Bullier, la formation d'acétylure de cuivre n'a lieu qu'avec de l'oxyde au minimum, on n'a donc pas à craindre l'attaque des conduites par ce gaz.

Explosibilité. — *Toxicité.* — L'acétylène, étant endothermique, peut, en principe, faire explosion sous l'action d'un

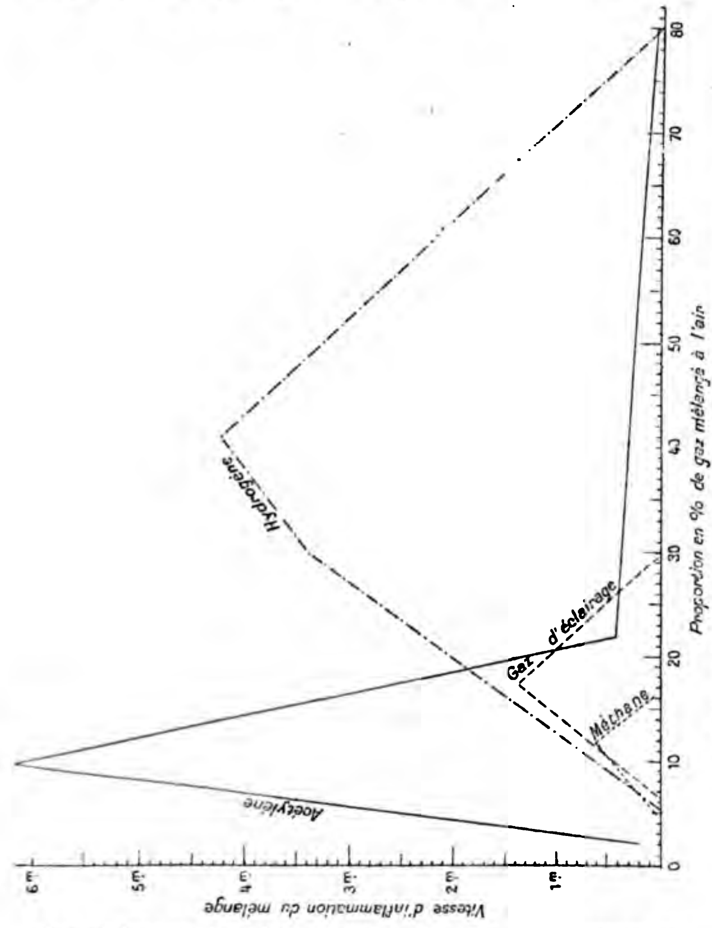


Fig. 144. — Vitesses d'inflammation d'un mélange d'air et de différents gaz.

choc violent ou d'un détonateur comme une petite cartouche au fulminate ; mais ces causes amenant la décomposition ne sont pas celles de la pratique. Quelques expériences directes ont montré que, jusqu'à 8 ou 10 kilogrammes, un réservoir

pouvait être soumis au choc d'un poids ou traversé par un projectile sans inconvénient. Il n'en est plus de même si le gaz est chauffé ; à $2^{atm},5$, la dissociation est complète ; la compression a pour effet d'augmenter la vitesse de propagation de la combustion tout en abaissant la température d'inflammabilité. C'est surtout à l'état liquide que les risques d'explosion sont plus nombreux ; il suffit de dépasser le point critique de 38° pour atteindre une pression de plus de 6.000 atmosphères. On ne doit pas, à cause de l'extrême dilatabilité du liquide, introduire dans le récipient plus de 600 grammes par litre de capacité, soit 256 litres de gaz. Les bouteilles qui renferment ce liquide sont soumises aux mêmes causes d'accident que celles des autres gaz comprimés : c'est-à-dire remplissage exagéré, élévation anormale de la température provenant soit de l'extérieur, soit d'une étincelle, défaut dans le métal, etc.

L'acétylène, dissous dans l'acétone soumis à une cause d'inflammation interne, ne fait explosion que si la pression initiale atteint 20 kilogrammes ou si la température dépasse 15° (Berthelot et Vieille). Le dissolvant peut être en partie ou totalement décomposé par la destruction complète de l'acétylène, suivant que celui-ci est en quantité suffisante ou non. Il faut remarquer, en outre, que la partie d'acétylène qui surmonte la dissolution conserve les propriétés explosives du gaz seul.

Comme tous les carbures gazeux, l'acétylène forme avec l'air un mélange détonant. Le tableau suivant donne les limites inférieures et supérieures d'explosion exprimées en 0/0 du volume du gaz considéré dans l'air.

	Limite inférieure	Limite supérieure
Benzine	2,6	4,8
Penthane	2,5	4,8
Benzol	3,1	6,3
Acétylène	3,8	40,0
Ethylène	4,2	11,5
Méthane	6,4	12,8
Gaz d'éclairage	8,0	28
Hydrogène	9,5	66,3
Oxyde de carbone	17,3	74,8
Gaz d'air	12,5	66,5

D'après Le Chatelier, le mélange explosif serait compris entre 3 0/0 et 65 0/0 d'acétylène. Bunte donne 3 0/0 et 72 0/0 pour l'acétylène, c'est-à-dire qu'il est explosif dans des limites plus étendues que le gaz ordinaire.

Enfin, d'après le Dr Grehant, le mélange est explosif au maximum pour 10 d'acétylène et 90 volumes d'air. Tandis que l'acétylène seul à la pression atmosphérique se décompose à 750°, un mélange de 65 0/0 de ce gaz et de 35 0/0 d'air se décompose à 480° (Le Chatelier). La vitesse de propagation de la flamme est très grande, de 6 mètres par seconde à 0m,05, suivant la proportion d'air, comme l'indiquent les graphiques comparatifs de la figure 144 établis par Bunte.

L'explosibilité est fonction également du diamètre des tubes. Le tableau suivant, d'après Le Chatelier, indique, pour un tube donné, les teneurs extrêmes d'acétylène pour que le mélange puisse propager la flamme.

Diamètre intérieur	Limite inférieure	Limite supérieure
40mm	2,9 0/0	66 0/0
20	3,5	55
6	4	40
2	5	15
0,8	7,7	10
0,5	0	0

Au point de vue de la toxicité, les dangers sont moindres qu'avec le gaz d'éclairage, à cause de l'oxyde de carbone contenu dans ce dernier ; il faut atteindre 40 0/0 d'acétylène dans l'air pour occasionner la mort d'un chien, tandis que 1/2 0/0 d'oxyde de carbone suffit ; l'élimination de l'acétylène du sang se fait très rapidement.

Combustion. — L'acétylène prend feu au contact de l'air, vers 480° au lieu de 600°, comme les autres gaz. Sa puissance calorifique est plus élevée que celle des carbures éthyléniques et forméniques ; il dégage 14.000 calories par mètre cube, soit 12.230 calories au kilogramme ; la chaleur de combustion est de 318 calories à pression constante, et la température de 2.420° (Le Chatelier). Aussi, à éclairement égal, ce

gaz dégage plus de chaleur que le gaz de houille; en effet, pour produire la carcel, il faut 7 litres environ d'acétylène, soit 100 calories, tandis que, pour le gaz ordinaire, il faut 10 litres, soit 55 calories. Brûlé dans un bec bunsen, on obtiendrait la température de 1.500°; avec l'oxygène, on atteindrait 4.000° en donnant naissance à des gaz réducteurs: hydrogène et oxyde de carbone. Ce dernier composé se produit du reste dans toutes les combustions incomplètes. Dans une combustion complète, on obtient deux fois moins d'acide carbonique qu'avec un bec Auer et quatre fois moins qu'avec une lampe à pétrole.

La flamme, très blanche, d'un bel éclat, est comparable, au spectroscope, à la lumière solaire; elle est fortement actinique. Son grand pouvoir éclairant est dû à sa richesse en carbone, à sa température élevée et à l'état endothermique du gaz, qui facilite la décomposition rapide du carbure. Elle est formée en quelque sorte par une succession d'explosions minuscules. Un corps froid plongé dans la flamme se recouvre très vite de noir de fumée. Le tableau suivant, dû à M. Lewes, donne son pouvoir éclairant comparativement à celui des autres gaz.

Nature de gaz	Pouvoir éclairant en carcel-heure par mètre cube
Méthane	3,5
Gaz de la ville de Paris	9,5
Gaz de la ville de Londres	11,5
Ethane	25
Propane	40
Ethylène	49
Butylène	86
Acétylène	168

Ce qui revient à dire que, si avec le gaz de Paris on obtient la carcel avec 105 litres, avec l'acétylène il ne faut que 6 litres.

Il éclaire donc 15 fois plus que le gaz de Paris; d'après M. Violle, il faudrait compter 20 fois plus.

Pour obtenir la combustion complète de 2 volumes d'acétylène, il faut 5 volumes d'oxygène, soit 15 volumes d'air.

Cette grande proportion d'air explique qu'on soit obligé de recourir à des brûleurs spéciaux, si l'on ne veut pas avoir une flamme rougeâtre et fuligineuse ; mais il ne faut pas exagérer cette quantité, sinon on diminue le pouvoir éclairant. On a essayé, avec succès du reste, les brûleurs à incandescence, dont le nombre est déjà considérable. Il est possible de se servir des brûleurs ordinaires, à la condition de mélanger l'acétylène à d'autres gaz. La dilution peut se faire soit avec des gaz inertes, comme l'azote, l'acide carbonique, soit avec des composés éclairants, comme le gaz de houille, le gaz d'huile, soit même avec l'air, à la condition de doser exactement le mélange.

130. Brûleurs. — *Brûleurs ordinaires.* — La combustion de l'acétylène s'effectue, le plus souvent, au moyen de becs fendus, de becs manchester ou de becs bougie. Quel que soit le système, le gaz doit être débité sous une faible épaisseur et une forte pression, 30 à 40 millimètres environ, nécessitée par le poids spécifique du gaz.

Le débit des becs *papillon* est de 30 à 40 litres ; il faut avoir soin de les nettoyer assez souvent. Beaucoup de constructeurs placent à l'intérieur du bec un petit tampon en toile métallique qui retient les impuretés et empêche tout retour de flamme. On emploie avec succès les papillons à deux fentes parallèles ou à trois fentes radiales.

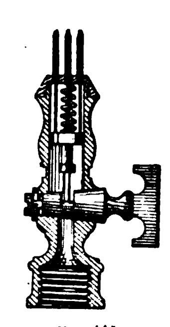


Fig. 145. Bec Fescourt.

Les becs *manchester* se font en stéatite ou en cuivre avec bouton en stéatite ; le réglage est assez délicat ; si la pression est trop faible, il se dégage de la fumée ; trop forte, la flamme allongée est peu éclairante ; les trous doivent avoir de 1/10 à 3/10 de millimètre.

Les becs *bougie* employés sont de deux sortes : l'orifice de sortie peut avoir un diamètre d'une certaine importance ou être constitué par un simple trou capillaire. Dans ce dernier cas, la flamme, très faible, a une intensité limitée et, pour avoir une certaine puissance, il faut réunir

plusieurs de ces becs sur un même ajutage en forme de champignon ou de pomme d'arrosoir. Ces brûleurs à faible débit s'obstruent rapidement. M. Fescourt a imaginé un dispositif pour les nettoyer souvent par la manœuvre du robinet. A cet effet (*fig.* 145), chaque bec est traversé par une aiguille reposant sur un support commun qu'un ressort pousse contre un excentrique monté sur la clé. En tournant cette dernière, on enfonce les aiguilles dans le bec; elles retombent ensuite sous l'action du ressort.

Comme bec bougie employé seul, on a adopté un bec en opaline serti dans une gaine en cuivre. Le gaz s'échappe librement d'un orifice convenablement calibré percé au fond d'une petite cuvette. Des essais photométriques effectués sur quatre types de bec « Bruncor » sont résumés ci-après.

Becs	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Pression d'écoulement	100 m/m	100	100	100
Consommation	6lit,5	7	7	8,5
Pouvoir éclairant	2c	1,5	1,2	1,1
Consommation par carcel	3lit,25	4,66	5,83	7,72

Les becs bougie ont été combinés de manière à accroître la combustion. Dans le dispositif *Ragot* (*fig.* 146), deux ajutages séparés envoient leur jet gazeux l'un contre l'autre; la flamme a la forme de celle d'un manchester. Les jets doivent se rencontrer sous un angle de 90° et l'écartement des orifices en millimètres est à peu près égal au nombre de litres à l'heure consommé par les deux brûleurs; la pression doit être de 80 millimètres; à 100 millimètres le bec siffle. Dans certains dispositifs, le bec, en forme de fer à cheval, est terminé à chaque extrémité par une pointe conique en stéatite. Le bec peut être complètement en stéatite et le gaz s'échappe par un petit orifice percé au fond d'une fente transversale, sur chacune des branches du bec. On peut encore, sur le brûleur en cuivre, rapporter deux têtes en opaline avec deux prises d'air dans chaque tête sur les faces du bec; les têtes en opaline sont serties dans des bagues en cuivre qui

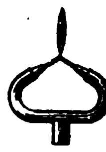


Fig. 146. Brûleur Ragot.

entrent à friction sur le corps du brûleur en forme d'arc. La consommation de ces différents brûleurs, à la pression de 100 millimètres, varie de 20 à 40 litres, et leur rendement est de $6^{lit},5$ à $7^{lit},5$ par carcel.

L'addition d'air au gaz avant sa combustion, comme on vient de le voir dans le bec précédent, a été appliquée à une

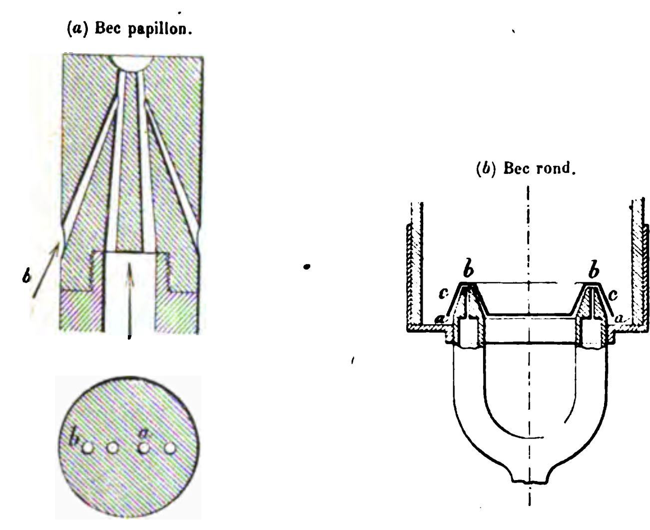


Fig. 147. — Becs Bullier.

série de brûleurs de toutes formes par M. *Bullier* (*fig.* 147). Dans ces becs dits automélangeurs, le gaz arrive au centre par des conduits *a* verticaux se raccordant dans le haut avec des conduits latéraux inclinés *b* par où pénètre l'air; les dimensions de ces derniers sont établies de manière à avoir un mélange de 50 0/0 d'air et de gaz.

M. Geisseler a imaginé un brûleur conjugué avec entraînement d'air, les têtes en stéatite sont remplacées par d'autres en rubis.

On a fait, avec ce genre de brûleur, un bec intensif composé de quatre becs conjugués deux à deux, de manière à former deux papillons placés dans le même plan et inclinés l'un

sur l'autre. La monture du brûleur est en cuivre et les quatre becs sont en stéatite ; ils sont cylindriques avec fente annulaire pour la prise d'air. Le jet de gaz émerge d'un petit orifice percé sur la paroi du cylindre intérieur et traverse la paroi du cylindre extérieur par un trou beaucoup plus grand placé en regard. La consommation est de 80 litres, et l'intensité, de 11 carcels, soit 7[lit],27 par carcel.

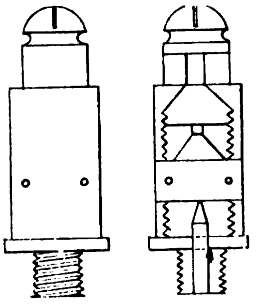


Fig. 148. — Bec Gillet-Forest.

On peut citer encore le bec *Gillet-Forest* (*fig.* 148), formé d'un bec papillon en stéatite de 5/10 monté sur une armature en cuivre composée de trois parties, comme un bunsen :

Un injecteur de gaz ;

Une chambre de mélange avec prises d'air et cône de départ ;

Et enfin une chambre de détente avec cône plus ouvert ;

Le rendement est assez remarquable. On a les chiffres suivants, en faisant varier la pression.

Pression	Débit en litres	Pouvoir éclairant	Consommation spécifique
125	57.5	9°,7	5[lit],92
100	50	8	6 ,26
50	34	5	6 ,8

Au lieu de mélanger l'air à l'acétylène, on peut, comme dans les brûleurs *Schulke*, amener l'air contre la flamme ; les becs sont à globe ou cheminée percés d'orifices par où l'air arrive directement sur la flamme de manière à assurer la combustion complète du gaz.

Des essais faits en 1897 au Service de l'Éclairage de la Ville de Paris, sur des brûleurs ordinaires ou à récupérateur, ont donné les résultats suivants :

NATURE DES BRULEURS	PRESSION	CONSOMMATION	INTENSITÉ	RENDEMENT
Bec rond à 8 trous[1].......	»	60	5c,6	10lit,6
— à 12 trous[2]......	»	82	9.3	8.81
Manchester 000[3]..........	58	81.7	7.84 et 10.74	7.97 et 10.42
Bec à récupérateur	54	122	20.5	6
Mortimer à 6 manchesters.	60	128	21,12	6,06
— sans récupérateur	»	132	13,60	9,69

1 Cheminée de 0,25 ; — 2 Cheminée de 0,20 ; — 3 Face et profil.

Brûleurs à incandescence. — L'incandescence par l'acétylène présente de grandes difficultés ; il faut entraîner une quantité d'air suffisante, au moins 15 fois le volume du gaz; d'autre part, le mélange ainsi est obtenu très inflammable et le bec s'allume facilement dans le bunsen. Il en existe cependant plusieurs modèles dont le rendement est très élevé : on obtient la carcel avec 3lit,5.

Le bec de la *Compagnie universelle d'acétylène* (*fig.* 149) est formé de cinq parties : 1° un injecteur; 2° une chambre à injection avec quatre prises d'air ; 3° une chambre de mélange formée de deux cônes; le cône inférieur très allongé et le cône supérieur plus court, mais très ouvert, se terminant par une toile métallique à mailles fines; 4° une chambre où s'opère la division du mélange, qui s'écoule dans huit petits tubes de 5 millimètres de diamètre et 25 de longueur disposés en couronne ; la partie centrale inférieure de cette chambre est fermée par un cône renversé contre lequel vient buter le mélange avant de s'engager dans les tubes ; la partie supérieure est ouverte ; 5° une couronne surmontant la tête des tubes par où s'échappe le gaz mélangé. A l'intérieur, arrive de l'air qui passe entre les tubes et sert à achever la

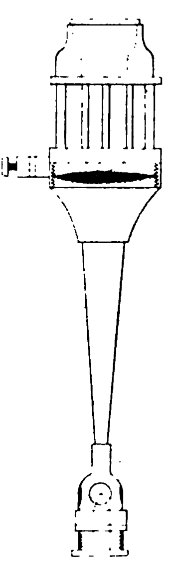


FIG. 149. — Bec à incandescence de la Cie universelle d'acétylène.

combustion du mélange. Le manchon, disposé au-dessus du bec tout en cuivre, a 7 centimètres de hauteur. A la pression de 125 millimètres, le débit est de 60 litres, et le pouvoir éclairant de 16 carcels, soit $3^{lit},75$ par carcel.

Il existe un grand nombre de becs identiques ne différant que par la longueur des tubes, leur nombre et leur diamètre, et donnant des résultats analogues aux précédents. La Compagnie française de l'acétylène dissous construit des becs de 20, 40, 70, 120 litres de débit par heure avec des intensités de 15, 28 et 50 carcels, qu'on peut pousser, en forçant la pression jusqu'à 1 mètre environ, sans que le fonctionnement laisse à désirer, tout au moins pour les faibles débits.

Dans le bec *Cuvelier*, on a essayé d'appliquer à l'acétylène le principe de l'automélangeur Bandsept, en remplaçant le bec rond ordinaire par un bec fendu ou manchester. Les résultats n'ont pas été satisfaisants.

En résumé, il faut compter avec les becs à air libre $5^{lit},5$ à $8^{lit},5$ par carcel, suivant l'importance du brûleur, et dans ceux à incandescence, une dépense beaucoup plus faible, $3^{lit},5$. Les fortes consommations sont les plus avantageuses.

Avec ce gaz, il est très difficile, en ouvrant plus ou moins le robinet d'un bec, de modifier le régime sans changer également le rendement; s'il y a trop de gaz, la flamme fume aussitôt; au contraire, s'il est en quantité insuffisante, la puissance lumineuse est de beaucoup diminuée.

131. **Acétylène dissous et comprimé.** — MM. Claude et Hess, pour emmagasiner le gaz, ont mis à profit la propriété qu'il a de se dissoudre dans l'acétone, en ayant la précaution de ne pas dépasser 10 atmosphères. Dans ces conditions, 1 litre d'acétone, à 10 kilogrammes de pression, contiendra 240 litres de gaz et occupera un volume final de $1^{lit},40$. Toutefois le système ainsi appliqué présente un inconvénient. L'accroissement de 40 0/0 du volume initial d'acétone ira constamment en diminuant à mesure qu'on utilise le gaz dissous; par suite, un récipient plein au début laissera au-dessus du liquide un vide rempli d'acétylène sous pression et par conséquent dangereux. Pour remédier à cet in-

convénient, on a imaginé de remplir le récipient d'un corps poreux capable d'absorber l'acétone sans laisser d'espace libre ; il en résulte que le gaz se trouve obligé pour s'échapper de traverser une infinité de canaux capillaires ; par suite, toute onde explosive ne peut se propager.

Le corps poreux est formé par des rondelles empilées de 0,5 de poids spécifique. On perd un peu de la puissance d'emmagasinement ; mais encore, à la pression de 10 ou 12 kilogrammes, on peut comprimer 190 litres par litre de récipient, le corps poreux laissant 80 0/0 de vide. Les récipients servant à recueillir la dissolution sont des tubes en acier doux avec couvercle à vis sur lequel est fixé un robinet à pointeau, le cuivre et les alliages sont exclus de toutes les parties en contact avec le gaz sous pression. Leur poids est de 1kg,5 à 3 kilogrammes par litre. Ils sont essayés à 36 kilogrammes pour les réservoirs avec enveloppe isolante et à 60 kilogrammes pour les autres.

On peut supprimer l'acétone et se contenter de comprimer le gaz à la pression de 7 atmosphères dans un récipient rempli par une substance poreuse (poids spécifique 0,3) formée par une sorte d'aggloméré très léger renfermant une forte proportion de charbon de bois mélangé à de la chaux. La contenance en acétylène est de 8 à 9 fois celle du réservoir. Pour faire le remplissage de ces appareils employés pour l'éclairage mobile, il suffit de les mettre en communication avec d'autres récipients contenant de l'acétylène dissous. Les réservoirs une fois remplis sont transportés chez les particuliers, où ils sont reliés aux brûleurs.

On peut encore les charger sur place au moyen d'appareils mobiles contenant de l'acétylène dissous à raison de 100 fois leur volume. Quatre réservoirs de 250 litres contiennent 100 mètres cubes. Une application de l'acétylène comprimé a été faite aux voitures du funiculaire de Belleville, après des essais faits sur le chemin de fer de Lyon.

132. Acétylène dilué. — *Gaz inertes.* — Un autre mode d'emploi de l'acétylène est de le diluer dans des gaz inertes, comme l'azote, par exemple, qu'on obtient par absorption de l'oxygène de l'air. Ce mélange, dans un eudiomètre, donne

avec l'étincelle électrique, de l'acide cyanhydrique. Des essais au Laboratoire de la Ville de Paris ont montré que 15 à 16 litres d'un mélange à 5 0/0 d'azote donnaient autant de lumière que 7^{lit},5 d'acétylène pur. Seulement il y a à craindre d'introduire de l'oxygène ; de plus, le prix de revient de production de l'azote est assez élevé.

L'addition de 10 à 20 0/0 d'acide carbonique donne également de bons résultats, le pouvoir éclairant étant fort peu diminué. On peut arriver à produire directement le mélange dans les proportions voulues en ajoutant au carbure de calcium du carbonate de chaux et un composé acide, de manière que ces deux corps, en réagissant l'un sur l'autre au contact de l'eau, donnent l'acide carbonique nécessaire.

Air. — La dilution a pour effet de faciliter l'attaque de l'oxygène, qui pénètre plus facilement dans le gaz. Il est donc tout indiqué d'essayer le mélange au préalable en ajoutant de l'air à l'acétylène. Seulement, il faut observer strictement la proportion de 15 à 20 0/0 d'air et ne pas dépasser surtout 30 0/0 pour que le mélange soit sans danger. Un certain nombre d'appareils ont été imaginés pour résoudre le problème avec la condition imposée de ne pas dépasser la proportion limite. Dans l'appareil mélangeur *Owing*, on a deux sortes de tambours montés sur un même axe et portant intérieurement un certain nombre d'hélices. Un des tambours communique avec un réservoir d'acétylène à pression constante, l'autre avec l'atmosphère. C'est la pression de l'acétylène qui fait tourner les tambours et il suffit de lui donner une valeur assez grande pour que la proportion limite ne soit pas atteinte. Il existe encore d'autres mélangeurs ; mais, quel que soit le système et malgré les avantages qui résultent de l'emploi de l'acétylène dilué d'air, soit comme rendement, soit comme suppression du dépôt de carbone aux brûleurs ordinaires, il n'est guère possible de se servir de ce genre d'appareils, à cause des dangers d'explosion.

133. Acétylène mélangé. — Au lieu de prendre des gaz inertes ou comburants, on a essayé de mélanger l'acéty-

lène à d'autres gaz combustibles, en premier lieu à de l'hydrogène. Il ne faut pas songer à obtenir l'hydrogène séparément de l'acétylène, à cause de la trop grande complication de fabrication qui en résulterait. M. *Macé* propose de joindre au charbon et à la chaux de fabrication du carbure de calcium, un oxyde de manganèse qui se décompose pour former un carbure de manganèse, lequel, au contact de l'eau, donne de l'hydrogène, du méthane et de l'oxyde de manganèse. Le procédé ne semble pas devoir se répandre, malgré les avantages que donne la combustion de l'hydrogène.

On peut encore enrichir le gaz de houille par l'acétylène; la proportion à ajouter est assez faible. D'après M. *Vautier*, il suffit d'envoyer l'acétylène, provenant d'un gazomètre spécial, par un tube percé de petits trous donnant des jets normaux, au gaz de houille maigre. L'enrichissement augmente très vite pour des mélanges contenant de 0 à 5 0/0 d'acétylène, surtout dans les becs ronds; il est peu sensible pour les becs Auer. D'après M. *Wedding*, le volume du gaz restant le même, 1 0/0 d'acétylène diminue de 30 0/0 la dépense du gaz de houille, 2 0/0 de 33 0/0 et 4 0/0 de 50 0/0, ce qui correspondrait à un pouvoir éclairant double. D'après les essais de la maison *Pintsch*, le mélange contenant 30 0/0 d'acétylène et 70 0/0 de gaz de houille aurait le même pouvoir éclairant que le gaz au titre de 35 litres par carcel.

Mais c'est surtout avec le gaz d'huile que le mélange d'acétylène a le mieux réussi, comme on le verra par la suite. Ce qui empêche les autres mélanges de se propager, c'est le prix élevé du carbure de calcium comparativement à celui des autres matières, et on ne peut guère le préconiser que pour le gaz de houille pauvre à très bas prix.

134. Acétylène comprimé. — Bien que n'étant plus guère employé, on ne peut passer sous silence les essais faits avec l'acétylène comprimé, tout au moins à des pressions moyennes de 6 à 7 kilogrammes, pour l'éclairage portatif.

Vers 1895, à la Compagnie des chemins de fer du Paris-Lyon-Méditerranée, de l'acétylène comprimé à 8 kilogrammes fut essayé pour l'éclairage d'un fourgon contenant également des lampes alimentées au gaz riche ; les becs à acéty-

lène dépensaient 14 à 15 litres, contre 25 litres ceux au gaz riche, avec un pouvoir éclairant 5 fois plus grand. Tout l'avantage était donc en faveur de l'acétylène.

Ce gaz était produit à la pression voulue dans un appareil *Bullier* (*fig.* 150) formé d'un cylindre A, en acier coulé, mobile autour de deux tourillons pour faciliter son nettoyage et rempli d'eau aux 2/3. Le carbure était contenu dans un panier B qu'on enfonçait progressivement par la tige extérieure D. L'orifice de chargement était fermé par un couvercle E avec joint en caoutchouc. Par l'orifice C, on introduisait quelques morceaux de carbure pour l'amorçage, en purgeant d'air le réservoir par le robinet F. Le gaz sortait par l'orifice R, après avoir traversé le dessiccateur J. Au moyen d'un manomètre, on lisait la pression et on réglait la production en enfonçant plus ou moins le panier. Les essais, quoique satisfaisants, ne furent pas poursuivis, la préférence ayant été donnée à un mélange de gaz riche et d'acétylène.

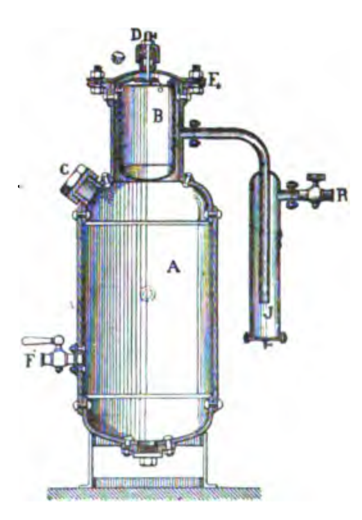


Fig. 150. — Appareil Bullier.

Une application de l'acétylène comprimé a été faite, à Paris, sur les voitures-tramways de la ligne Porte d'Ivry-les-Halles. Le gaz, comprimé au moyen de pompes, est recueilli dans des accumulateurs de 4 mètres de haut sur $0^{m},70$ de diamètre, essayés à la pression de 50 kilogrammes et munis de manomètres et de soupapes. Il est ensuite transvasé dans des réservoirs en tôle d'acier, à la pression de 4 kilogrammes placés sous les voitures et essayés à la pression de 30 kilogrammes. Leur capacité de 90 litres permet, avec deux réservoirs, d'assurer l'éclairage de cinq lampes pendant dix heures. Un détendeur de pression ramène celle-ci à 10 centimètres

d'eau dans la canalisation. Cette application, assez onéreuse d'installation, n'a pas été généralisée.

135. Réglementation. — Sur la proposition du Conseil de Salubrité de la Seine, l'industrie de l'acétylène a été soumise à une réglementation spéciale résumée dans les articles suivants :

Article premier. — L'emploi d'un générateur dans un immeuble doit être déclaré à la préfecture de police, en indiquant l'emplacement de l'appareil, une description de cet appareil avec plans et instructions sur son fonctionnement, certifiés par le constructeur. Tout nouveau locataire devra renouveler cette déclaration.

Art. 2. — Les générateurs devront toujours être placés à l'air libre, ou dans un local bien aéré et éclairé par la lumière du jour. Les bouteilles d'acétylène liquéfié devront être soustraites à l'action directe du soleil ; on devra également les entourer d'une enveloppe protectrice avec libre circulation d'air.

Art. 3. — Les résidus de la fabrication ne pourront être déversés à l'égout qu'après avoir été dilués dans dix fois leur volume d'eau.

Art. 4. — Les réservoirs d'acétylène comprimé ou liquéfié devront satisfaire à certaines conditions. Pour des pressions inférieures à 10 kilogrammes par centimètre carré, les réservoirs devront être essayés par le constructeur, et sous sa responsabilité, à une pression double de celle à supporter. Ils devront être munis d'un manomètre. Pour des pressions supérieures à 15 kilogrammes, les réservoirs seront soumis, par le service des mines, aux frais du propriétaire, à une épreuve officielle, opérée avec le martelage et constatant qu'ils supportent une pression égale à une fois et demie la pression maxima du gaz qu'ils contiennent.

Les bouteilles ou réservoirs d'acétylène sont soumis aux épreuves actuellement imposées aux réservoirs de protoxyde d'azote et d'acide carbonique, destinés au transport par voies ferrées, sauf en ce qui concerne les conditions de remplissage.

Toutes les précautions relatives à la canalisation et à la ventilation des locaux éclairés par le gaz ordinaire sont applicables à ceux éclairés par l'acétylène.

§ 2. — Gaz riche

136. Fabrication du gaz riche. — On désigne sous le nom de gaz riche un composé gazeux analogue à celui de la

houille, mais d'un pouvoir éclairant bien supérieur. La matière première est une sorte de schiste bitumineux noir désigné en minéralogie sous le nom d'ampélite et connu plus vulgairement sous le nom de *boghead.* Les gisements, très nombreux en Ecosse, sont exploités, à ciel ouvert, concurremment avec ceux des schistes dont ils sont limitrophes. En second lieu, vient une sorte de houille de couleur brune ou noire, peu collante au feu : c'est le *cannel coal.* Les schistes bitumineux d'Autun, les *lignites* d'Allemagne, en un mot tous les corps se rapprochant du bitume, peuvent donner du gaz riche.

A ces substances naturelles, il faut ajouter les produits ou résidus de fabrication tels que les goudrons de pétrole, de houille, les huiles minérales ou végétales, les huiles de paraffine, les résines, les graisses, c'est-à-dire une infinité de composés pouvant donner un gaz plus ou moins riche.

Toutes ces matières ne servent pas forcément à la fabrication du gaz riche, d'un prix de revient élevé et en quantité insuffisante ; elles sont utilisées surtout pour augmenter le pouvoir éclairant d'une houille trop maigre, d'où le nom de gaz d'enrichissement qu'on lui donne quelquefois.

La préparation du gaz riche au moyen du boghead ne présente rien de particulier. La distillation s'effectue dans des cornues en fonte doublées de terre réfractaire. La matière n'augmentant pas de volume, les cornues peuvent être remplies complètement. L'opération dure une heure environ avec des charges de 42 kilogrammes. En général, 100 kilogrammes de boghead donnent 35 à 45 mètres cubes de gaz, 40 à 45 litres d'eau ammoniacale ou goudron. Il n'y a pas de coke comme résidu, mais une substance noirâtre feuilletée et friable, formée de silicates terreux. L'épuration, très simple, se fait au moyen d'un peu de chaux et d'oxyde de fer ; la composition du gaz avant l'épuration est de :

Hydrocarbures et hydrogène	70 à 75 0/0
Oxyde de carbone	3 à 4
Acide carbonique	27 à 31

Sa densité est de 0,550, et il faut 8 à 9 mètres cubes d'air pour assurer la combustion complète de 1 mètre cube de gaz.

Le cannel coal donne à peu près la même quantité de gaz que la houille, 30 à 33 mètres cubes, deux fois plus de goudron, 13 kilogrammes, et 1 hectolitre de coke beaucoup plus lourd, 500 kilogrammes à l'hectolitre. La qualité des cannels diminue avec leur teneur en oxygène; la composition moyenne est la suivante :

	1re qualité	2e qualité	3e qualité	Moyenne
Matières volatiles 0/0.	46,7	50,9	44,1	42,7
Cendres 0/0..........	6,2	4,6	6,8	5,9
Rendement en gaz....	32^{m3},2	30,7	30,4	31,1
Pouvoir éclairant.....	60^{lit},8	64,3	70,7	64

Le gaz obtenu, de densité 0,545, contient en volume 0/0 :

Carbures absorbables par le brome	14,05
Méthane et azote..............................	37,58
Hydrogène......................................	38,28
Oxyde de carbone..............................	7,07
Acide carbonique et oxygène....................	3,02

Il renferme environ 58^{gr},55 de benzol par mètre cube. Le cannel coal peut se distiller seul ou mélangé à la houille, ce qui est préférable, car, au point de vue du pouvoir éclairant, les résultats sont bien meilleurs.

Les résines donnent également beaucoup de gaz, d'un pouvoir éclairant élevé, 80 à 130 mètres cubes par 100 kilogrammes de matières.

Le gaz riche a comme application l'éclairage intermittent de villes d'eau, de grands établissements, mais il lui est maintenant difficile de lutter contre les autres systèmes d'éclairage à cause de son prix de revient ; aussi ne sert-il plus guère qu'à l'enrichissement des gaz de houille et comme gaz portatif.

137. Enrichissement du gaz de houille. — L'emploi forcé de houilles maigres, des distillations rapides à haute tempé-

rature, sont autant de causes d'appauvrissement du pouvoir éclairant du gaz, par suite de la petite quantité des hydrocarbures lourds. Dans bien des cas, on est dans l'obligation de restituer au gaz ces hydrocarbures. L'enrichissement peut se faire de plusieurs façons :

1° On peut ajouter directement au charbon à distiller la matière enrichissante. Par exemple, si 100 kilogrammes de charbon donnent une quantité A de mètres cubes (30 ordinairement) d'un pouvoir éclairant trop faible, et si le gaz à obtenir doit avoir un pouvoir b, il faudra ajouter une quantité y de charbon enrichissant, soit x mètres cubes d'un pouvoir éclairant c. On aura donc 100 kilogrammes de charbon pour

$$A^{m3} \times a = Aa \text{ bougies,}$$

y kilogrammes de matière enrichissante pour

$$x^{m3}c = xc.$$

Le mélange $A + x$ de pouvoir éclairant b doit être égal au total des pouvoirs lumineux précédents :

$$(A + x)\, b = Aa + xc,$$

d'où l'on déduit :

$$x = \frac{A\,(b - a)}{(c - b)}.$$

Si 100 kilogrammes de matière enrichissante donnent C^{m3}, pour x mètres cubes, on aura un poids y :

$$y = \frac{x\,100}{C} = \frac{100\,A\,(b - a)}{C\,(x - b)}.$$

Ce calcul n'est vrai que si la matière enrichissante conserve le même rendement en gaz et le même pouvoir lumineux, seule ou distillée avec le charbon.

Au lieu de mélanger les matières, on peut les distiller séparément, surtout si les températures et les résidus de distillation ne sont pas analogues. Seulement, le fait d'une double installation fait souvent préférer la première solution, qui a en outre l'avantage de donner un mélange plus intime des gaz.

2° On a adopté, pour l'enrichissement, le composé gazeux provenant de la décomposition du goudron de pétrole et de houille, des huiles de naphte et de schiste, etc. Dans ce cas tout mélange direct est impossible.

On peut, comme dans le procédé *Dinsmore*, ajouter directement les produits de la distillation du goudron à ceux de la houille en réservant une cornue par four. Cette cornue est munie de deux tubulures : une à l'avant, l'autre à l'arrière, mise en relation au moyen d'un siphon avec un réservoir à goudron. Le gaz, sortant des cornues à charbon, passe dans celle à goudron, où il se charge de carbures éclairants. Avec un four à sept cornues, on utilise ainsi la moitié de la production du goudron, qui est amenée directement du barillet et des citernes à ce réservoir. A la longue, la cornue finit par s'encrasser, le goudron dépose un coke visqueux qu'il suffit de brûler en faisant passer un courant d'air. Le gaz obtenu par ce procédé résiste aux basses températures.

3° L'enrichissement du gaz peut se faire directement par l'emploi du benzol vaporisé, dont la densité varie de 0,850 à 0,880. Ce carbure a une tension de vapeur considérable. Bunte a donné cette tension à diverses températures.

Température	Tension en m/m	Température	Tension	Température	Tension en m/m
— 15	8,85	0	25,31	+ 15	58,93
— 10	12,92	+ 5	34,17	+ 20	75,65
— 5	18,33	+ 10	45,25	+ 25	95,91

Le benzol, comme on l'a vu, peut s'extraire des goudrons de houille provenant de la fabrication du gaz ou du coke. On peut l'obtenir par distillation directe du naphte, dont 100 kilogrammes donnent : 40 kilogrammes de benzol à 55 0/0, 30 kilogrammes d'anthracène et 20 kilogrammes de créosote.

Le pouvoir éclairant du gaz est dû en majeure partie au

benzol ; un gaz moyen en contient 38 grammes par mètre cube, et il n'est saturé qu'à 59gr,3 de cet hydrocarbure vers 10° ; on peut donc en ajouter toujours une vingtaine de grammes sans crainte de condensation. Il suffit de 1 gramme à 1gr,60 de benzol par mètre cube de gaz pour diminuer d'un litre la quantité de gaz nécessaire à la production de l'unité de lumière, ou, autrement dit, 4 grammes suffisent pour augmenter d'une carcel le pouvoir éclairant d'un mètre cube de gaz au titre de 105 litres par carcel-heure. Le benzol peut être ajouté au moment de la fabrication ou à l'émission. Dans les deux cas, il faut connaître à chaque instant le pouvoir éclairant du gaz et son débit pour déterminer le poids du benzol à ajouter.

a) Divers dispositifs permettent le réglage automatique du benzol ajouté proportionnellement au débit. On peut, par exemple (*fig.* 151), faire commander une soupape, placée sur une conduite déviée, par la cloche du régulateur d'émission ; si les sections du cône de la soupape et de celui du régulateur sont dans le rapport de 1 à 10, le gaz passant par le branchement sera 1/10 de celui du régulateur. Le gaz ainsi dévié va à un compteur dont l'arbre commande, par une chaîne, un robinet doseur laissant écouler une quantité de benzol proportionnelle au volume de gaz enregistré par le compteur. Ce benzol se rend au vaporisateur chauffé par circulation d'eau d'un thermosiphon ; il en sort à l'état gazeux pour se mélanger au gaz. Pour faire varier la quantité de benzol avec le pouvoir éclairant, il suffit de monter, sur l'arbre du compteur, des poulies de diamètre différent et de changer la chaîne suivant chaque variation.

b) On peut encore confier directement à un appareil à cloche, placé sur la canalisation, le réglage de l'écoulement du benzol. Il suffit que la cloche commande, par un renvoi de mouvement, un tiroir découvrant plus ou moins les orifices d'écoulement du benzol dans un vaporisateur qui reçoit directement le gaz. Pour faire varier la quantité de liquide avec le pouvoir éclairant, l'orifice d'écoulement du benzol est muni d'une vis micrométrique qu'on enfonce plus ou moins suivant le titre du gaz à obtenir.

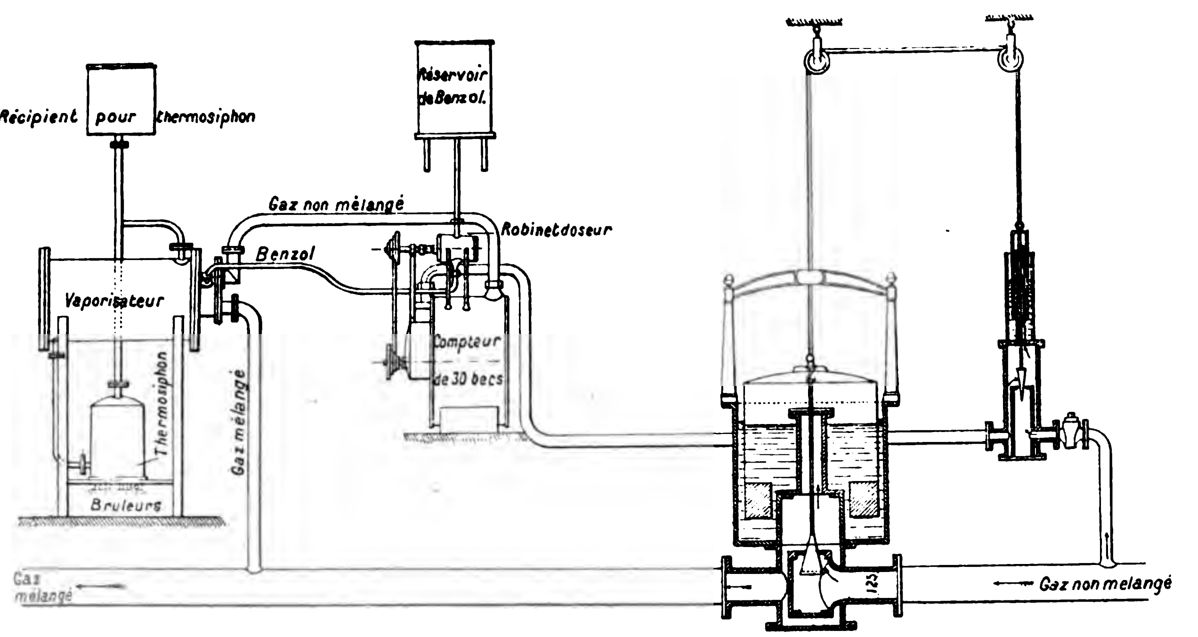


FIG. 151. — Carburation du gaz par le benzol.

c) Enfin, dans l'appareil de la Société des Huiles minérales de Colombes (*fig.* 152), on dispose un compteur double, dans lequel le gaz arrive par un tube s'ouvrant par un coude arrondi dans la conduite principale avant le régulateur ; la sortie débouche dans la même conduite après le régulateur. On peut admettre que la quantité de gaz passant dans ce compteur est égale au rapport des sections du tuyau d'alimentation et de la conduite principale. Le fonctionnement est très simple, l'arbre du compteur commande une cuillère qui se remplit de benzol pour se déverser à chaque révolution dans un vaporisateur disposé à la manière ordinaire. Le gaz, avant de se mêler au benzol, passe dans un régulateur différentiel recevant à sa partie supérieure la pression du gaz à la sortie dans la conduite et ayant pour but de régler l'écoulement du gaz dévié. On règle, en outre, la quantité de benzol, d'après le pouvoir éclairant, au moyen d'une vis agissant sur la cuillère de manière à la faire vider plus ou moins complètement.

On peut également ajouter le benzol à froid et supprimer par conséquent le vaporisateur, mais le mélange est moins certain.

L'enrichissement du gaz a de grands avantages ; il permet d'employer des houilles de qualité secondaire et à bon marché ou donnant des produits spéciaux, pourvu que la dépense d'enrichissement ne dépasse pas l'économie réalisée sur la houille. Le benzol comme diluant a, en outre, la propriété de réduire la naphtaline restant dans le gaz ; plus il sera riche en produits volatils, meilleur il sera.

Au point de vue des proportions à ajouter, on peut se baser sur les résultats obtenus par le Dr Bunte ; d'après des essais faits dans un brûleur à fente débitant 150 litres à l'heure, il a trouvé comme pouvoir éclairant en bougies :

	Pouvoir éclairant	
Gaz ordinaire	15	bougies Hefner
— avec 25 0/0 d'éthylène	40.3	—
— avec benzol	25.0	—
— à 20 0/0 de méthane	12.5	—
— à 2 0/0 d'hydrogène	7.3	—
— à 20 0/0 d'oxyde de carbone	3.0	—

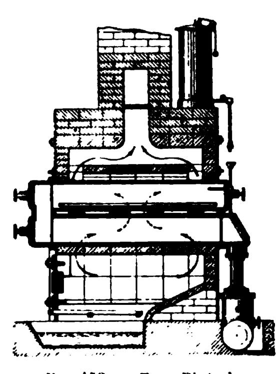
Fig. 152. — Carburateur de la Société des Huiles minérales de Colombes.

A, régulateur ; B, B, vannes d'isolement ; F, cuillère ; G, H, réglage de la cuillère ; *i*, régulateur différentiel ; L, M, arrivées du benzol et du gaz dans le vaporisateur N, chauffé par le thermosiphon P ; O, sortie du gaz qui débouche par *f* dans la conduite principale.

On a vu qu'on pouvait essayer l'enrichissement du gaz de houille par l'acétylène et que 4 à 5 0/0 de ce gaz suffisaient.

138. Gaz d'huile. — On donne plus spécialement ce nom au produit éclairant obtenu par la distillation de substances liquides. Il a été imaginé un grand nombre de procédés pour la fabrication de ce gaz; mais le principe est resté le même pour tous les appareils. Quel que soit le système ou la matière, la décomposition est obtenue en projetant cette dernière sur une substance réfractaire portée au rouge. Ce gaz ne renfermant que fort peu de composés ammoniacaux ou sulfurés, un peu d'acide carbonique, l'épuration est très facile au moyen de la chaux et par un lavage. Les liquides, employés proviennent des goudrons de schiste, du pétrole, des résidus de dégraissage ou de suint; on emploie également les mazouts de Russie.

Dans le système *Pintsch*, qui est le plus répandu, le four comporte deux cornues en fonte superposées de $1^m,50$ de long sur $0^m,260$, $0^m,173$ ou $0^m,130$ de large; elles communiquent entre elles par la partie avant (*fig.* 153) et sont fermées par des tampons ordinaires. L'huile arrive d'un siphon de distribution; un robinet à vis en règle le débit, qui ne doit pas être continu, car la quantité d'huile introduite doit varier avec la température des cornues. Le liquide tombe d'abord dans un bac en tôle placé sur la sole de la cornue supérieure; la décomposition pyrogénée se continue ensuite dans la deuxième cornue. Ce bac, qui a pour but de faciliter le nettoyage en retenant les impuretés, sert, en outre, à débiter le liquide sous forme d'une nappe mince favorisant l'évaporation. La température des cornues varie de 8 à 900°.


Fig. 153. — Four Pintsch.

Le gaz, à sa sortie, passe dans un cylindre vertical en tôle formant condenseur; il barbote ensuite dans un barillet,

puis pénètre dans deux autres condenseurs formés par des cylindres verticaux de 2 mètres de haut sur $0^m,70$ de diamètre refroidis par un courant d'eau froide; enfin, il traverse deux laveurs de $1^m,25$ de haut sur $0^m,80$ de diamètre remplis de morceaux de bois disposés en chicanes. Quelquefois, mais rarement, on épure le gaz dans des caisses contenant du peroxyde de fer et de la chaux hydratée. Un compteur permet d'évaluer la quantité de gaz fabriqué qu'on emmagasine sous un gazomètre. La production est de $8^{m3},50$ de gaz par cornues jumellées et par heure. Toutes les substances ne donnent pas la même quantité de gaz :

	Mètres cubes par 100 kg. de matière
Goudron de schiste	35 à 40
Goudron de pétrole ou mazout	50 à 60
Pétrole brut	60 à 75

Le gaz d'huile est employé plus spécialement pour les éclairages de peu d'importance, villages et usines, dans les filatures, où l'on utilise les huiles de dégraissage ou de suint; mais, comme le gaz riche, il sert également aux éclairages mobiles, comme celui des wagons de chemins de fer, des bouées. M. Fowlis le préconise pour l'enrichissement du gaz de houille, et considère le procédé comme économique.

Le gaz d'huile ne doit être employé qu'avec des brûleurs à faible débit, 20 à 30 litres, dont le pouvoir éclairant correspond à un bec de 105 litres de gaz ordinaire. Ce pouvoir éclairant, comme, du reste, sa puissance calorifique, qui est 2,3 fois celle du gaz ordinaire, est dû à la richesse de ce gaz en éthylène.

139. Applications du gaz riche et du gaz d'huile. — *Gaz portatif.* — L'idée de supprimer les canalisations souterraines et de les remplacer par des véhicules transportant le gaz aux points de consommation a été mise en pratique depuis longtemps. Il faut, dans ces conditions, donner au gaz un pouvoir éclairant maximum, de manière à réduire au minimum le volume à transporter. Il était donc tout indiqué de recourir au gaz riche, d'autant mieux que

le gaz ordinaire a l'inconvénient d'avoir sa puissance lumineuse diminuée par la compression, par suite de la condensation de certains hydrocarbures. Cette perte croît rapidement : avec une pression de 30 kilogrammes, elle atteint 5 0/0. Le gaz riche perd aussi de son pouvoir éclairant, mais beaucoup moins : il donne naissance à un liquide recueilli avec soin et employé à la dissolution des corps gras.

La fabrication, en elle-même, ne présente rien de particulier. A sa sortie des épurateurs, le gaz est recueilli sous un gazomètre, d'où il est aspiré, pour être refoulé, au moyen d'une pompe à piston plein, dans des réservoirs disposés sur un camion. Le gaz est comprimé à 20 kilogrammes. Chaque réservoir est relié à une canalisation générale dont il peut être isolé au moyen d'un robinet. L'abonné possède une série de récipients identiques ; comme la pression y est moindre (4 à 5 kilogrammes), il suffit de les réunir aux précédents pour effectuer le transvasement. La liaison se fait au moyen d'une conduite en toile doublée de caoutchouc et commandée par un robinet de barrage disposé dans un coffret analogue à celui employé pour le gaz ordinaire. Ces réservoirs, étant timbrés à 20 kilogrammes, ne présentent aucun danger ; toutefois il faut avoir soin de les disposer dans un endroit ventilé et peu fréquenté, sous les combles par exemple.

Une canalisation en plomb, n offrant d'autre particularité que d'avoir un diamètre réduit, part de ces réservoirs pour alimenter les brûleurs de l'habitation. On abaisse la pression au moyen d'un détendeur analogue au régulateur d'abonné ; elle est ramenée à 20 ou 30 millimètres d'eau. On peut employer également des détendeurs à membrane ; celle-ci, en agissant sur un obturateur placé à l'orifice, réduit la pression dans les proportions voulues. Le réglage se fait au moyen d'une vis ou d'un écrou (*fig.* 155).

Éclairage des bouées et phares. — Le gaz riche a été appliqué à l'éclairage des bouées à cause de la propriété qu'il a de ne perdre que fort peu de son pouvoir éclairant à des pressions de 10 à 12 kilogrammes. Ces bouées, d'une ca-

pacité de 11 mètres cubes, renferment, à la pression de 7 kilogrammes, une provision de gaz suffisante pour un éclairage permanent de cent jours, au bout desquels on renouvelle le récipient de gaz; les becs employés sont des brûleurs en stéatite à double courant d'air consommant 28 à 30 litres de gaz et donnant 8 becs carcels en lumière blanche dans la direction principale. On a construit des bouées de 18 mètres cubes illuminées par des brûleurs à double courant d'air de 120 litres, donnant 40 becs carcels.

Il a été fait également avec ce gaz, toujours pour l'application aux phares, de l'éclairage par incandescence. On a intérêt, au point de vue du rendement, à le brûler sous pression; la consommation diminue avec la pression jusqu'à 1/10 de kilogramme. La quantité d'air doit être au moins de 8 fois celle du gaz. Le brûleur employé ne présente rien de spécial. Toutefois cette application à l'éclairage des phares ne s'est pas développée, son prix de revient étant plus élevé que celui de l'incandescence par le pétrole.

Éclairage des voitures de chemins de fer. — On emploie du gaz d'huile comprimé au moyen d'une pompe aspirante et foulante qui extrait le gaz contenu dans le gazomètre à travers un cylindre destiné à le débarrasser des particules liquides qui peuvent l'accompagner. Il y a deux pistons en cascade, le premier de 170 millimètres de diamètre, le second de 100; la course commune est de 320 millimètres. La compression a lieu dans le premier cylindre à 4 atmosphères, et dans le second à 10 ou 12. Comme nous l'avons vu pour le gaz portatif, il se produit un dépôt d'hydrocarbures liquides qu'on recueille dans un récipient entre la pompe et les accumulateurs : 1.000 mètres cubes de gaz donnent 150 kilogrammes d'hydrocarbures d'une densité moyenne de 0,850. La perte de pouvoir éclairant est encore importante, un gaz d'huile qui donne $7^{bg},5$ à $8^{bg},5$ par 25 litres à la pression de 35 millimètres ne donne que 6 bougies après la compression.

Les accumulateurs sont constitués par de grands réservoirs en tôle rivée, munis de manomètres et d'appareils de sûreté, d'où le gaz est transvasé dans des récipients montés

sur le véhicule. Il y a plusieurs manières de disposer ces réservoirs.

Dans le procédé *Camberlin*, appliqué en Belgique, on met deux réservoirs par train, dans les fourgons de tête et de queue. Le gaz y est comprimé à 10 atmosphères. Toutes les voitures sont reliées par une canalisation générale aboutissant à ces fourgons. Il faut un robinet à l'extrémité de chaque voiture, ce qui permet d'isoler une partie du train sans cesser l'éclairage. Pour plus de sûreté, quelques voitures portent, en outre, un réservoir pouvant fournir du gaz pendant huit à dix minutes, c'est-à-dire la durée d'une manœuvre.

Il est nécessaire d'ouvrir le robinet de prise de gaz des réservoirs, une dizaine de minutes avant l'allumage, pour chasser l'air des conduits. Si l'on est pressé par le temps, on se contente de tourner dans une position spéciale le robinet de la dernière voiture. Dans ces conditions, la conduite est mise en communication directe avec l'air, l'allumage peut se faire alors instantanément. Ce système ne s'est pas développé par suite de sa grande complication.

On préfère munir chaque voiture de réservoirs particuliers. Ils ont la forme d'un cylindre terminé par deux calottes sphériques d'une capacité de 350 à 400 litres. La pression du gaz est de 6 à 7 kilogrammes. Lorsqu'il y a plusieurs réservoirs A, A sur une voiture, on les réunit entre eux. Sur le raccord qui les fait communiquer avec la conduite des brûleurs *a*, on place un détendeur de pression D (*fig.* 154).

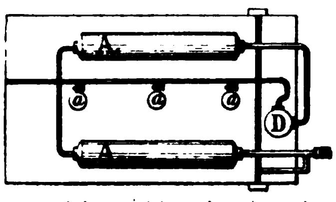


Fig. 154. — Éclairage des voitures de chemins de fer.

Il se compose d'une cuvette en fonte A (*fig.* 155), fermée à sa partie supérieure par une membrane imperméable B en cuir, au centre de laquelle est fixée une tige *c*, qui peut se mouvoir autour d'une articulation placée près du point d'attache. Elle est reliée de même à sa partie inférieure à un levier D qui actionne le robinet R d'introduction du gaz. Un

ressort C, agissant en sens contraire de l'action de la membrane, maintient ce levier, dont les mouvements sont rendus indépendants des cahots du wagon. Ce régulateur se place sur la caisse de la voiture ; la pression dans la conduite des brûleurs est de 16 millimètres.

Les lampes des brûleurs sont alimentées par des tuyaux branchés sur la conduite. Il y a un robinet principal commandant toute la canalisation, et un autre par lampe.

Les brûleurs, du type manchester ou papillon, en stéatite ou en fonte, consomment 35 litres de gaz. Ils sont enfermés dans une lanterne avec coupe en verre au-dessous. Un réflecteur en tôle émaillée renvoie la lumière dans toutes les directions. Les brûleurs sont montés sur un tube mobile autour d'une charnière, de façon qu'en enlevant le réflecteur on relève le brûleur ; le nettoyage de la coupe est alors très facile. Une cheminée en tôle évacue les gaz brûlés.

Comme toujours, les prises d'air sont ménagées de façon à ne pas influencer la flamme aux vitesses les plus grandes.

On peut mettre le brûleur en veilleuse, soit du compartiment même, soit de l'extérieur, au moyen d'un robinet spécial.

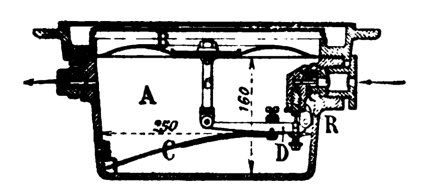


Fig. 155. — Détendeur de pression.

On emploie également des lanternes à récupération, semblables à celle indiquée par la figure 156.

Cet appareil, assez compliqué et d'un prix élevé, n'a pas été généralisé.

Pour charger les réservoirs le long des quais d'embarquement, on établit une conduite en plomb de 8 millimètres d'épaisseur et de 16 de diamètre, timbrée à 15 kilogrammes. Tous les 10 mètres, on place une bouche de chargement. Elles sont en fonte, de forme ovale, et contiennent un robinet ; il suffit de les réunir aux réservoirs par une conduite souple et de cesser le remplissage quand la pression du réservoir est de 7 kilogrammes.

140. Mélange du gaz riche et du gaz acétylène. — Depuis l'apparition de l'acétylène, on a une tendance à mélanger ce gaz au gaz riche; les résultats sont très avantageux, mais on n'est pas d'accord sur les proportions : les uns mélangent 66 0/0 d'acétylène pour 34 de gaz riche; les autres, au contraire, 75 0/0 de gaz riche pour 25 0/0 d'acétylène.

Dans la disposition adoptée par la Compagnie de chemin de

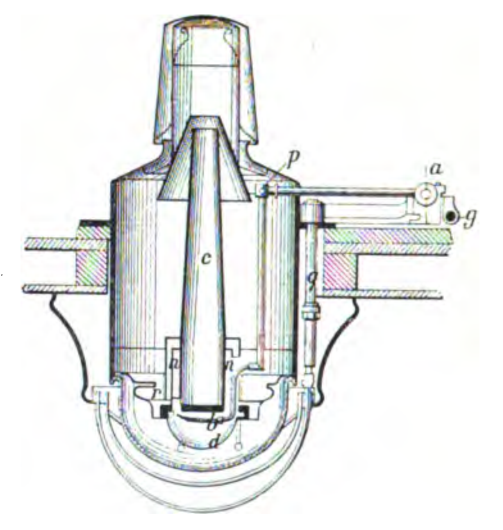


Fig. 156. — Lampe à récupération.

a, genouillère mobile autour de la conduite *g* ; *b*, bec manchester ; *c*, cheminée conique ; *d*, coupe en cristal ; *r*, réflecteur ; *n*, *n* chambre de récupération ; *p*, robinet d'isolement ; *q*, tige de mise en veilleuse commandée par le store.

fer Paris-Lyon-Méditerranée, c'est ce dernier mélange qu'on adopte. On a deux usines : une à gaz riche et l'autre à acétylène. La première comporte trois fours à sept cornues dans lesquelles on distille des bogheads ou des schistes d'Autun; le gaz est épuré dans quatre colonnes de condensation et dans deux épurateurs à la chaux et au minerai de fer.

L'usine à acétylène comporte trois générateurs du système Pintsch à chute de carbure dans l'eau, il n'y en a jamais que deux en service. Le gaz est épuré dans un condenseur de

0m,80 de diamètre sur 4 mètres de hauteur, formé d'une double enveloppe dans laquelle circule un courant d'eau froide amenée à la partie supérieure; il se débarrasse ensuite de l'ammoniaque dans un laveur, enfin il passe dans deux épurateurs contenant du chlorure de calcium avant de se rendre au compteur de fabrication et de là au gazomètre de 50 mètres cubes de capacité.

Les gaz ainsi préparés reviennent chacun dans un compteur spécial laissant passer, celui du gaz riche 92 mètres cubes, l'autre 31 mètres cubes; puis ils débouchent dans la même conduite qui aboutit au gazomètre de 100 mètres cubes, d'où il sera repris par des pompes qui l'envoient sous les accumulateurs de pression. Les deux compteurs de distribution sont rendus solidaires au moyen d'une chaîne de Galle s'enroulant sur un pignon monté sur l'arbre de chaque compteur. Il suffit de donner aux pignons des diamètres convenables pour obtenir une proportion déterminée des deux gaz. La quantité de mélange fabriqué est de 2.000 mètres cubes par jour; le pouvoir éclairant des becs où il est employé est de 15 bougies pour une consommation de 25 litres sous 40 millimètres de pression après avoir été comprimé à 10 kilogrammes dans des réservoirs spéciaux. Les becs employés sont du type manchester avec toile métallique intercalée pour retenir les impuretés.

Le Métropolitain de Berlin est éclairé par le même mélange comprimé à 6 atmosphères. Le gaz est fabriqué par la maison Pintsch avec les mêmes appareils que ci-dessus.

§ 3. — Gaz de bois et de tourbe

141. Fabrication. — Le bois a été la première substance employée pour donner du gaz ; mais il ne tarda pas à être remplacé par la houille. La distillation du bois ou de la tourbe peut se faire de deux façons; ces corps calcinés en vase clos, à *basse* température, émettent des vapeurs condensables, riches en produits de toutes sortes, comme l'acide céatique, l'alcool méthylique, les goudrons. Au contraire, à

une *haute* température, ils donnent un gaz riche en hydrocarbures. Il faut, pour cela, empêcher ces derniers de se condenser et les décomposer en produits plus stables. C'est, en somme, le résumé de la fabrication du gaz riche : formation et décomposition des hydrocarbures.

Les deux procédés sont également employés : le premier donne en effet des produits très recherchés et un charbon de bois très utile pour les besoins domestiques; il se forme bien, en même temps, un gaz combustible, mais il est en si faible quantité qu'on le laisse perdre le plus souvent.

Le choix de la nature du bois, en vue de préparer du gaz d'éclairage, n'a aucune importance; le rendement est sensiblement le même pour toutes les essences, il atteint généralement 33 mètres cubes par 100 kilogrammes de bois ou de tourbe. La seconde condition à observer est une dessiccation complète du bois. On comprend que l'eau, qu'il pourrait renfermer, augmenterait inutilement, soit directement, soit par les produits de sa décomposition, le volume du gaz, tout en diminuant le pouvoir éclairant ; de plus, le chauffage serait mal utilisé. La dessiccation du bois se fait dans la salle des fours; il faut le distiller aussitôt après, sinon il absorbe de nouveau l'humidité.

La distillation a lieu dans des cornues en fonte de forme analogue à celles de la houille. On adopte la fonte à cause de sa conductibilité, trente-trois fois plus grande que celle de la terre réfractaire. La décomposition des vapeurs absorbe une grande quantité de chaleur, qu'il est alors facile de restituer rapidement. Les cornues ont une hauteur de $0^m,30$ à $0^m,45$, une largeur de $0^m,56$ à $0^m,68$ et une longueur de $2^m,61$ à $2^m,70$; leur épaisseur varie de $2^{cm},5$ à 3 centimètres. La charge est de 50 à 75 kilogrammes de tourbe ou de bois desséché; elle se fait à la cuillère. La distillation dure une heure et demie ; mais c'est pendant la première heure que se produit la plus grande quantité de gaz.

Le chauffage doit être très vif : c'est la condition indispensable. La distillation terminée, on fait tomber le bois dans des étouffoirs où il est éteint très rapidement; il donne un charbon très léger. Lorsqu'une cornue vient à fuir, on répare aisément l'avarie au moyen d'un mélange de terre

réfractaire et de borax. Les cornues durent dix mois ; leur production est de 200 à 250 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures. La surface de chauffe est plus grande que pour la houille ; on emploie toutes sortes de combustibles.

Le gaz, à sa sortie des cornues, est envoyé à l'épuration ; un barillet le débarrasse du goudron et de l'acide acétique qu'il renferme ; ce barillet doit être en cuivre, car l'acide ne tarderait pas à ronger la fonte ou la tôle de fer ; de plus, à cause du dégagement rapide du gaz, il faut le refroidir au moyen d'une circulation d'eau froide. A la suite de cet appareil se trouvent installés les laveurs et les réfrigérants analogues à ceux du gaz de houille ; enfin a lieu l'épuration chimique. Elle a une très grande importance, le gaz de bois renfermant un quart ou un cinquième de son volume total d'acide carbonique. On emploie la chaux éteinte mélangée à des matières capables de la diviser, comme de la tannée, de la mousse ou de la sciure de bois. Elle est disposée dans les épurateurs en couches de 5 à 6 millimètres d'épaisseur que le gaz traverse méthodiquement. Il faut 100 à 110 kilogrammes de chaux pour 100 mètres cubes de gaz correspondant à 10 mètres carrés de surface de claie.

Le gaz obtenu est assez lourd ; sa densité varie de 0,600 à 0,700, suivant sa teneur en oxyde de carbone. Comme il n'est pas très riche en produits éclairants, les brûleurs doivent avoir des dimensions assez considérables ; la pression doit en outre être très faible, de manière à le débiter lentement sous une forte épaisseur. Il est caractérisé par l'absence totale d'acide sulfhydrique.

Au point de vue de la fabrication, il a encore comme avantage de donner, à poids égal, plus de gaz que la houille ; la distillation étant plus rapide, les appareils sont moins volumineux ; par contre, il exige, pour son épuration, des quantités de chaux considérables. Les sous-produits sont assez recherchés ; quelques-uns, comme le goudron, renferment de la paraffine de première qualité. L'emploi de ce système d'éclairage est très limité.

§ 4. — Gaz a l'eau

142. Principe de la fabrication. — Le charbon porté au rouge décompose la vapeur d'eau en donnant de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone :

$$C + H^2O = CO + H^2;$$

la chaleur absorbée est de 29.000 calories.

En réalité, il se forme également de l'acide carbonique provenant de l'oxydation de l'oxyde de carbone. Ce gaz, en effet, décompose la vapeur d'eau vers 625°, température à laquelle on descend lorsque le charbon se trouve refroidi par le passage de la vapeur, surtout si elle est en excès. D'autre part, le coke généralement employé contient du soufre, et il se produit de l'hydrogène sulfuré. On devra donc soumettre ce gaz à une épuration pour le débarrasser de ces deux composés.

Le gaz à l'eau ainsi obtenu, ou gaz bleu, est éminemment combustible, mais peu ou pas éclairant. On peut s'en servir directement pour l'éclairage à incandescence ou pour le mélanger à d'autres gaz, mais pour l'éclairage ordinaire il faut le carburer, c'est-à-dire lui ajouter artificiellement les hydrocarbures lourds dont il est dépourvu. De là deux sortes de procédés pour sa fabrication :

1° Le gaz à l'eau est produit seul pour être employé directement ou carburé dans des appareils à part. Les générateurs appliquant ce procédé sont ceux de Strache et de Dellwick-Fleischer;

2° Le gaz à l'eau est carburé directement dans l'appareil de fabrication ; à ce groupe se rattachent les systèmes Lowe, Humphreys et Glasgow.

Quel que soit le procédé, le principe de la fabrication consiste à se servir d'une partie du carbone pour l'élever à la température nécessaire à la décomposition de l'eau ; il suffit pour cela de souffler une certaine quantité d'air sur une masse de combustible enflammé. Le carbone brûle en portant toute la masse à l'incandescence. Quand la température voulue est obtenue, on remplace l'air par de la vapeur qui se décompose

au contact du carbone incandescent qu'elle refroidit. Lorsque la masse est à une température trop basse pour dissocier la vapeur d'eau, on recommence à injecter de l'air pour porter à nouveau le carbone à l'incandescence et ainsi de suite.

Si on fait du gaz à l'eau carburé, le principe reste le même ; mais le gaz formé rencontre, avant sa sortie, des hydrocarbures volatilisés auxquels il se mélange plus ou moins intimement. Les carburants usités varient beaucoup suivant les contrées et surtout d'après la facilité de se les procurer. En Amérique, on emploie le pétrole (huile solaire); en Angleterre, les pétroles russes, les huiles lourdes raffinées, les goudrons de schistes, etc. ; en Allemagne, on donne la préférence au benzol; tous ces composés ont, du reste, des propriétés identiques et, presque toujours, le même appareil peut les utiliser indifféremment, sauf cependant pour le benzol, qui a, en outre, l'inconvénient de se condenser plus facilement.

Le gaz à l'eau ne renfermant que de l'hydrogène sulfuré et de l'acide carbonique, l'épuration peut se faire à la chaux. Lorsqu'il s'agit du gaz carburé, un condenseur sera nécessaire pour retenir les hydrocarbures non mélangés, qui se déposeront sous forme de goudron, soit 10 à 12 0/0 de l'huile employée.

143. Procédé Strache. — L'appareil de fabrication comporte un générateur recevant indifféremment du coke, de l'anthracite ou du lignite et tous les composés combustibles, à la condition qu'ils soient dépourvus de matières volatiles. Au moyen d'un ventilateur, on insuffle de l'air chaud sous la grille du générateur; cet air est chauffé en le faisant passer dans un récupérateur installé dans la cheminée. Le générateur fonctionne alors comme un gazogène ordinaire, c'est-à-dire que les produits, de la combustion renferment de l'azote, de l'acide carbonique et une grande quantité d'oxyde de carbone, 30 0/0 ; le gaz à l'air ainsi formé est d'autant plus combustible qu'il s'échappe à 4 ou 500°. On l'utilise dans un générateur où il brûle au contact d'un courant d'air. Lorsque le combustible est suffisamment incandescent, on remplit complètement de charbon le générateur et on remplace l'air par de la vapeur d'eau qui passe, au préalable,

dans le régénérateur où elle s'échauffe fortement. Le gaz à l'eau se forme en même temps qu'une partie de la houille distille; la décomposition de la vapeur d'eau dépend de la température du carbone et de la vitesse de passage.

Cette vitesse ne doit pas être exagérée, car on diminue les pertes de chaleur et l'entraînement du combustible, et on peut utiliser les températures assez basses. Le gaz ainsi formé est envoyé à l'épuration, puis à un gazomètre.

L'insufflation d'air chaud dure dix minutes, et celle de la vapeur cinq; il en résulte qu'on obtient une quantité de gaz à l'air plus que suffisante pour le chauffage de la vapeur; aussi, une partie de ce gaz peut être employée à d'autres usages immédiats, si c'est possible, car il n'y a pas intérêt à l'emmagasiner; 100 kilogrammes de combustible donnent 400 mètres cubes de gaz d'air et 100 à 200 mètres cubes de gaz à l'eau, suivant l'importance de l'installation; ce gaz est employé directement ou mélangé à d'autres.

144. Procédé Dellwick-Fleischer. — Au lieu d'avoir une combustion incomplète, comme dans le système précédent, on transforme tout le carbone en acide carbonique. Ce résultat est obtenu en diminuant la hauteur du combustible et en augmentant la quantité d'air par la pression. Il n'y a pas formation de gaz d'air, mais on arrive beaucoup plus vite à l'incandescence du combustible, en consommant moins de ce dernier. Le rendement doit être forcément meilleur, 70 0/0 au lieu de 50 0/0. En effet, 1 kilogramme de charbon transformé en oxyde de carbone dégage 2.400 calories et en acide carbonique 8.080, soit trois fois plus de chaleur; mais, comme il faut beaucoup plus d'air pour obtenir l'acide carbonique, la quantité de chaleur emportée par les produits de la combustion sera un peu plus élevée; malgré cela, le calcul théorique montre que la chaleur disponible, pour décomposer l'eau, reste encore trois fois plus grande avec ce procédé et se trouve un peu supérieure à la chaleur nécessaire à cette décomposition, ce que l'expérience vérifie.

L'appareil (*fig.* 157) se compose d'un générateur garni intérieurement d'un revêtement réfractaire avec une ou deux trémies de chargement. La vapeur peut être injectée par le haut

ou le bas, de même pour l'air. Le fonctionnement est très

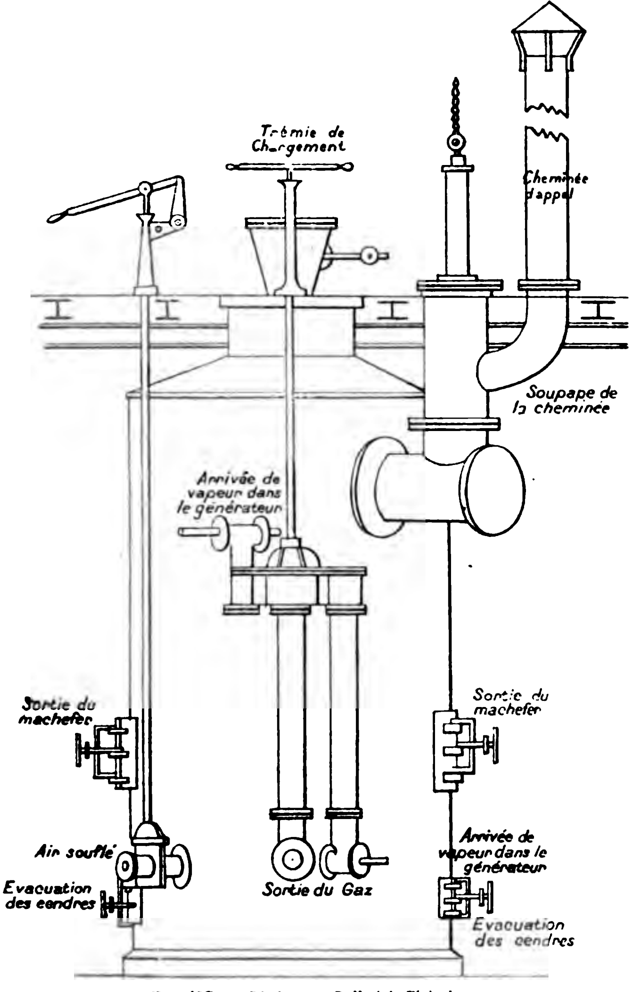


FIG. 157. — Générateur Dellwick-Fleischer.

simple : pendant une minute ou une minute et demie, on injecte de l'air sous pression, puis, quand le coke est incan-

descent, on remplace l'air, pendant huit à dix minutes, par de la vapeur d'eau arrivant successivement par le haut et le bas, suivant l'abaissement de la température; il faut avoir soin de diminuer la quantité de vapeur vers la fin, pour empêcher la formation de l'acide carbonique ; les deux périodes terminées, on ouvre de nouveau le souffleur d'air et ainsi de suite. Avec ce procédé, on consomme 80 à 100 kilogrammes de vapeur et 40 à 60 de charbon, par 100 mètres cubes de gaz.

Le gaz ainsi obtenu est employé pur; on peut encore, comme à Königsberg, le carburer par le benzol ; il suffit de vaporiser ce dernier dans un carburateur et d'envoyer la vapeur dans le gaz d'eau, qu'on ajoute dans la proportion de 20 à 25 0/0 au gaz de houille, à l'entrée du gazomètre. L'enrichissement est de 80 à 90 grammes par mètre cube de gaz à l'eau, soit 20 grammes par mètre cube de gaz final, dont le pouvoir éclairant est de 18 bougies Hefner sous 20 millimètres de pression. A Erfurt, le gaz à l'eau est ajouté au gaz de houille non épuré après le barillet, afin de retenir tout ce qu'il est possible de goudron, on réalise une économie de 20 0/0 sur le benzol quand on l'injecte avant ou après le gazomètre.

On peut carburer le gaz à l'eau avec des huiles de naphte ; l'opération est un peu plus compliquée. Dans un four à deux rangées de cornues communiquant par la partie arrière, on envoie dans les cornues du bas, chauffées à 700°, du gaz à l'eau et de l'huile ; le mélange passe ensuite dans celles du haut, puis se rend aux laveurs et aux condenseurs. Le gaz ainsi préparé contient 75 0/0 de gaz à l'eau et 25 0/0 de gaz d'huile ; il faut compter 17 kilogrammes de coke et 26 kilogrammes d'huile par 100 mètres cubes de gaz d'un pouvoir éclairant de 16 bougies anglaises pour 142 litres (étalon Sugg).

145. Procédé Lowe. — Il a pour but de fabriquer directement du gaz carburé. L'appareil se compose (*fig.* 158) d'un générateur A et d'un surchauffeur B, tous deux en fer forgé et revêtus intérieurement de briques réfractaires. Le générateur est rempli de coke ou d'anthracite qu'on introduit par la trémie *a*. Le charbon est porté à l'incandescence au

moyen d'une injection d'air produite par un ventilateur. Les produits de la combustion arrivent par *b* au surchauffeur et s'échappent par *d*. Si la température s'élève trop ou que la quantité d'oxyde de carbone soit trop forte, on ramène le gaz par la conduite *c* au générateur pour le brûler. Le générateur et le surchauffeur étant suffisamment chauds, on ferme les soupapes *c* et *d* et on ouvre *g* et *h*, de manière à introduire la vapeur d'eau et le naphte provenant du réservoir G. Les deux courants gazeux se mélangent d'abord dans le générateur, puis dans le surchauffeur où se complète la carburation. Le gaz carburé passe ensuite dans un laveur C

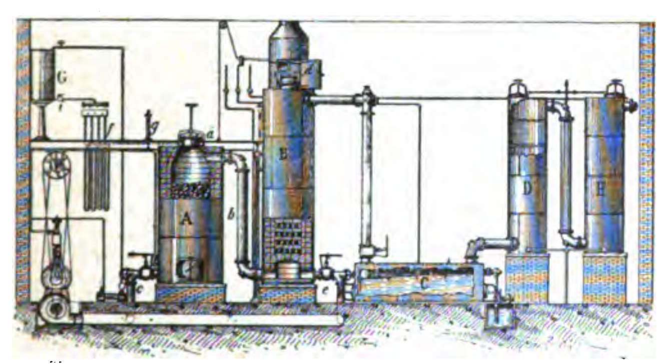


Fig. 158. — Fabrication du gaz à l'eau.

et dans deux colonnes à épuration D et E. Le goudron, très recherché, est recueilli avec soin. Au bout de quinze à vingt minutes, l'opération est arrêtée et il faut recharger à nouveau le générateur, qu'on doit nettoyer complètement toutes les six à douze heures. Il faut, pour 100 mètres cubes de gaz, 60 à 70 kilogrammes de coke et 68 à 70 litres d'huile solaire de 0,860 à 0,878 de densité. L'inconvénient du procédé est qu'il est intermittent.

146. Procédé Humphreys et Glasgow. — Ce procédé, dérivé du précédent, comporte trois appareils : un générateur, un carburateur et un surchauffeur. Chacun d'eux est formé par un cylindre en acier doublé intérieurement d'un revêtement

réfractaire ; le carburateur et le surchauffeur sont remplis en outre de briques disposées en chicanes.

Le générateur étant rempli de coke sur une épaisseur de 1m,50 à 2 mètres, on insuffle, par une tubulure, l'air sous la couche de combustible. Il se forme un gaz riche en oxyde de carbone qu'on brûle au contact d'une nouvelle quantité d'air sous pression, 500 millimètres, dans le surchauffeur. Les produits de la combustion et le peu de gaz d'air qui restent arrivent au carburateur, où ils finissent de brûler ; ces deux appareils sont portés à 950°.

On dispose alors le générateur pour recevoir de la vapeur qui se décompose à travers la couche de coke ; le gaz d'eau arrive à la partie supérieure du carburateur, où il rencontre de l'huile préalablement réchauffée par les gaz de la première phase. Le mélange va ensuite au surchauffeur, dont les hydrocarbures sont transformés en gaz permanents.

Le gaz carburé sec est aspiré par un exhausteur pour être refoulé à l'épuration, puis au gazomètre. L'admission d'air dure trois à quatre minutes et celle de l'eau sept à huit minutes. On compte 75 kilogrammes de coke pour 40 kilogrammes d'huile et 100 mètres cubes de gaz d'eau. L'épuration, très simple, nécessite 2,5 à 3 kilogrammes de matière par 1.000 mètres cubes de gaz d'un pouvoir éclairant de 16 à 19 bougies anglaises. Enfin, comme main-d'œuvre, six à sept hommes suffisent pour une batterie donnant 35.000 mètres cubes en quatorze heures. Très souvent, on dispose un double jeu de générateurs, carburateurs et surchauffeurs, mais la marche de la fabrication reste la même.

147. Procédé Lewes. — C'est un procédé mixte utilisant le carbone et le fer pour la décomposition de l'eau ; il a été appliqué dans les usines de la South Metropolitan C°, à Londres. Le générateur, qui occupe 11 mètres carrés de surface, soit 5m,45 × 2m,10, se divise en trois compartiments : celui du milieu est rempli de coke tout venant, et les deux latéraux de morceaux de fer quelconques, en particulier de vieux rails.

Le coke est amené à l'incandescence au moyen d'une double injection d'air : l'une à la partie inférieure du com-

bustible, l'autre aux deux tiers de la hauteur. Le gaz à l'air, ainsi formé, est envoyé dans la chambre à fer où l'oxyde de carbone réduit l'oxyde de fer en s'oxydant lui-même, pour donner du fer et de l'acide carbonique. Quand le coke a atteint la température convenable, le courant d'air est remplacé par un jet de vapeur dans la chambre à fer. On obtient ainsi de l'hydrogène qui se dégage, tandis que l'oxygène est retenu par le fer. En même temps, on injecte de l'huile minérale brute à l'aide de vapeur d'eau surchauffée au milieu du combustible, le mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène environne l'huile et la protège contre une décomposition trop vive; on obtient seulement des hydrocarbures permanents. On lance aussi un second jet de vapeur au-dessous du jet d'huile, de manière à maintenir en suspension l'huile qui aurait tendance à descendre.

Le mélange des différents gaz produits s'échappe par la partie supérieure des générateurs et se rend de là aux appareils épurateurs. Quand la température dans le générateur s'est suffisamment abaissée, on arrête l'arrivée de vapeur et d'huile et on injecte de nouveau de l'air pour recommencer l'opération.

L'admission d'air dure quinze minutes environ, et vingt minutes celle de la vapeur d'eau. L'appareil arrive à produire 3.540 mètres cubes en douze heures. Le gaz ainsi carburé se rend dans un gazomètre spécial, d'où il est repris pour être mélangé au gaz ordinaire.

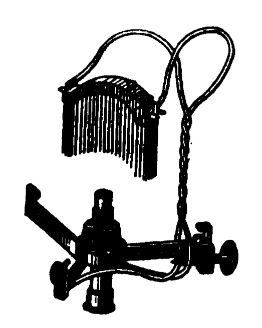


FIG. 159. — Brûleurs en magnésie.

148. Propriétés du gaz à l'eau. — Le gaz à l'eau est un gaz éminemment combustible; sa puissance calorifique est de 2.400 à 2.600 calories par mètre cube, inférieure à celle du gaz de houille, qui s'élève à 4.800 et 5.000 calories. Mélangé au gaz de houille dans la proportion de 20 0/0, il fait perdre à ce dernier 10 0/0 de sa chaleur de combustion, que l'on rétablit en partie par l'addition de benzol. Il est employé

seul pour l'éclairage à incandescence; primitivement on s'est servi, dans ce but, de peignes formés de dents en magnésie (*fig.* 159) (Fahnehjelm) ; le pouvoir éclairant, au début, est de 20 ou 22 bougies, 15 au bout de cinquante heures et 10 seulement au bout de cent heures. La lumière obtenue est très blanche, sans fumée ni chaleur; mais la durée des peignes est insuffisante : deux à trois semaines au plus.

Les brûleurs genre Bunsen avec manchons coniques donnent un bien meilleur résultat.

La composition du gaz à l'eau dépend naturellement du mode de fabrication; on a les chiffres suivants :

ÉLÉMENTS	GAZ de LONDRES	GAZ de PARIS	STRACHE	DELLWICK	LOWE	HUMPHREYS	LEWES
Hydrogène	53,36	50	50	50,80	21,80	40,22	40,77
Oxyde de carbone	7,05	7,50	40	39,65	28,10	28,74	15,15
Méthane	32,69	34,00	»	0,82	30,70	16,80	14,21
Hydrocarbures lourds	3,58	3,50	»	0,05	12,90	8,72	29,20
Hydrogène sulfuré et acide carbonique	0,61	2,00	4,40	4,65	3.80	»	»
Oxygène	0,21	1,00	»	0,20	0,50	0.14	0,14
Azote	2,50	2,00	5	3,83	2,20	5,38	0,53

Le grand inconvénient du gaz à l'eau est sa teneur en oxyde de carbone, qui rend son emploi excessivement dangereux; aussi, presque toujours, le mélange-t-on au gaz de houille; on ne dépasse guère actuellement 30 0/0 à 33 0/0, pour la proportion du gaz ajouté, ce qui ramène à 15 ou 20 0/0 la quantité d'oxyde de carbone que le gaz utilisé ne doit pas excéder. Un autre inconvénient du gaz à l'eau est son absence d'odeur que l'on corrige par l'addition de mercaptan ou de carbilamine. Le Dr Bunte empêche la formation de l'oxyde de carbone en produisant la réaction

$$C + 2H^2O = CO^2 + 2H^2;$$

seulement l'enlèvement de l'acide carbonique augmenterait de beaucoup le prix du gaz, et le procédé n'est pas appliqué.

Le gaz à l'eau carburé étant plus lourd que celui de houille, un réglage spécial des brûleurs est nécessaire lorsqu'on l'emploie seul.

A carburation égale, le gaz à l'eau mélangé au gaz de houille donne une meilleure utilisation que l'emploi du gaz carburé seul, du seul fait que le méthane du gaz ordinaire est un excellent diluant des hydrocarbures. C'est pour ce motif que M. Lewes a proposé d'envoyer dans les cornues de distillation de la houille 3 0/0 de gaz à l'eau qui aurait comme conséquence de réduire la décomposition des hydrocarbures. La carburation, pendant la fabrication, au moyen de gaz d'huile, est également préférable à l'addition de benzol vaporisé après la fabrication ; le gaz d'huile ainsi ajouté est très riche en éthylène, dont les pouvoirs éclairant et calorifique sont très élevés ; outre sa facilité de condensation, le benzol a, en plus, l'inconvénient, dans le brûleur à incandescence, de faire enflammer le gaz à l'éjecteur.

Quel que soit le système adopté, le gaz à l'eau a de grands avantages : production rapide de gaz, installation peu coûteuse par suite du peu de place occupé, réduction de la main-d'œuvre, suppression de l'emploi des charbons spéciaux. Il permet, en outre, l'application de grandes quantités d'huile de benzol sans emploi, et l'utilisation immédiate du coke de l'usine. Sa mise en marche rapide et la faculté qu'on a d'interrompre la fabrication ou de la modifier à volonté, en donnant un gaz plus ou moins riche, justifient le développement considérable qu'il a pris dans ces dernières années.

§ 5. — Gaz a l'air

149. Principe de la fabrication. — Le principe de la fabrication du gaz à l'air consiste à charger de carbures éclairants de l'air que l'on met en contact avec des huiles volatiles. Cette préparation fort simple ne nécessite d'autre force motrice que celle indispensable pour faire barboter ou mettre en contact l'air avec le liquide. On donne plus spécialement à ces appareils le nom de carburateurs et au gaz obtenu celui de gaz aérogène. Tous les composés carburés suffisamment volatils, comme la gazoline, la benzine ou essences de pétrole, le benzol provenant de la distillation de la houille, peuvent être employés. Leur densité est de 0,600 à 0,650, et leur point de condensation assez bas pour ne pas avoir à craindre un appauvrissement subit du gaz.

Le principe, très simple, est d'une application difficile, car il faut que la carburation soit constante pour ne pas avoir à toucher constamment aux appareils d'utilisation pour les régler; ce mélange doit être très intime pour éviter toute condensation ultérieure, surtout si l'air est près de la saturation; le mélange peut être obtenu par compression ou aspiration de l'air.

Le gaz est distribué à la manière ordinaire, à la condition de mettre autant que possible les conduites à l'abri des changements brusques de température. Il faut avoir soin de multiplier les siphons purgeurs pour qu'en cas d'obstruction la vidange puisse se faire très vite.

Le pouvoir éclairant du gaz aérogène étant très faible, à l'inverse de celui du gaz riche, on doit le débiter sous forte épaisseur et pression élevée, car il est plus lourd que l'air. Le plus souvent, on emploie des becs à trous, mais on peut se servir également de becs à récupération ou à incandescence. Du fait que le gaz est mélangé à de l'oxygène provenant de l'air, il présente de grands dangers, et si la carburation est insuffisante, on court des risques d'explosion. Les accidents ont souvent lieu au moment où l'on ajoute le liquide; la gazoline, émettant des vapeurs à la température ordinaire, s'enflamme très facilement. Il est donc indispensable, avec ce

système d'éclairage, de prendre de très grandes précautions.

Le nombre des appareils de fabrication de gaz à l'air est considérable, mais bien peu réalisent les conditions voulues.

150. Fontaines à gaz. — Le principe de ces appareils consiste dans le siphonnement continu d'un mélange gazeux, combustible et éclairant, constitué par de l'air saturé de gazoline. Dans un réservoir en fer-blanc de forme prismatique, on comprime une substance perméable qu'on imbibe de gazoline. Elle est entassée dans le bidon, de manière que l'air puisse circuler librement entre les divers éléments. A la partie supérieure du réservoir émergent deux tubes : l'un plongeant complètement dans l'appareil qu'on joint par une conduite aux brûleurs et qui forme le siphon ; l'autre, partant de la partie supérieure, sert à l'introduction de l'air à carburer. Le fonctionnement repose sur la densité du gaz à l'air plus lourd que l'air, ce qui fait qu'en plaçant les brûleurs à un niveau inférieur à la fontaine, on aura un écoulement continu du gaz remplacé à chaque instant par de l'air aspiré. On peut, avec une seule fontaine, alimenter plusieurs brûleurs ; mais, dans ces conditions, la marche n'est guère économique ; la fontaine ne s'épuise pas complètement ; il reste toujours des carbures lourds qui n'ont pas été entraînés assez rapidement. Il est préférable d'avoir une fontaine par bec, à raison de 5 litres par réservoir, avec un bec de 15 bougies décimales correspondant à une durée d'éclairage d'environ soixante-dix heures.

151. Carburateur Faignot. — La Luciole. — Dans l'appareil *Faignot*, l'air est aspiré au moyen d'un ventilateur recevant son mouvement d'un tambour sur lequel se trouve enroulée une corde dont l'extrémité est munie d'un poids que l'on remonte au moyen d'un treuil. Le poids, en descendant, fait tourner le tambour. La durée de sa course peut être établie pour six, huit ou douze heures.

L'air accumulé sous un gazomètre est envoyé ensuite aux carburateurs. Ce sont des récipients en tôle garnis intérieurement de mèches ou de tampons de feutre imbibés de gazoline, qui activent l'évaporation. On augmente la carbu-

ration en forçant l'air à passer dans plusieurs compartiments au moyen de chicanes.

L'appareil produisant l'éclairage dit *la Luciole* est à peu près semblable. Le carburateur renferme une roue à palettes mue comme précédemment (*fig.* 160). Pour avoir un niveau de gazoline constant, l'alimentation a lieu au moyen d'un tube recourbé débouchant un peu au-dessus du liquide. Lorsque l'orifice de ce tube vient à être mis à découvert, une nouvelle quantité d'air pénètre dans le réservoir d'alimentation et force la gazoline à s'écouler. De cette façon, on obtient une carburation constante. La prise d'air se fait par un tube à la partie haute de la salle. La durée du fonctionnement est de huit heures, et l'on compte 1 litre de gazoline par bec de 130 litres et par quinze heures d'utilisation.

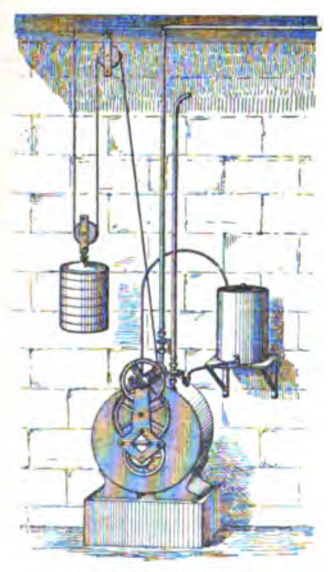


Fig. 160. — La Luciole.

152. **Carburateur compresseur de Van Vriesland.** — Le principe de l'appareil est de multiplier les points de contact de l'air avec le liquide carburant. Il se compose (*fig.* 161) de deux cylindres concentriques : dans le premier, intérieur, A, autour de l'axe de rotation T sont enroulés quatre tubes à 16 spirales ; le second cylindre B forme enveloppe et contient la gazoline, dont le niveau est maintenu constant par un vase de Mariotte. A chaque révolution des tubes, ceux-ci enlèvent une certaine quantité de gazoline formant colonne qui comprime l'air devant elle et l'aspire derrière. Les tubes débouchent par un prolongement dans le sens du rayon vers une boîte I qui communique avec une chambre distincte C

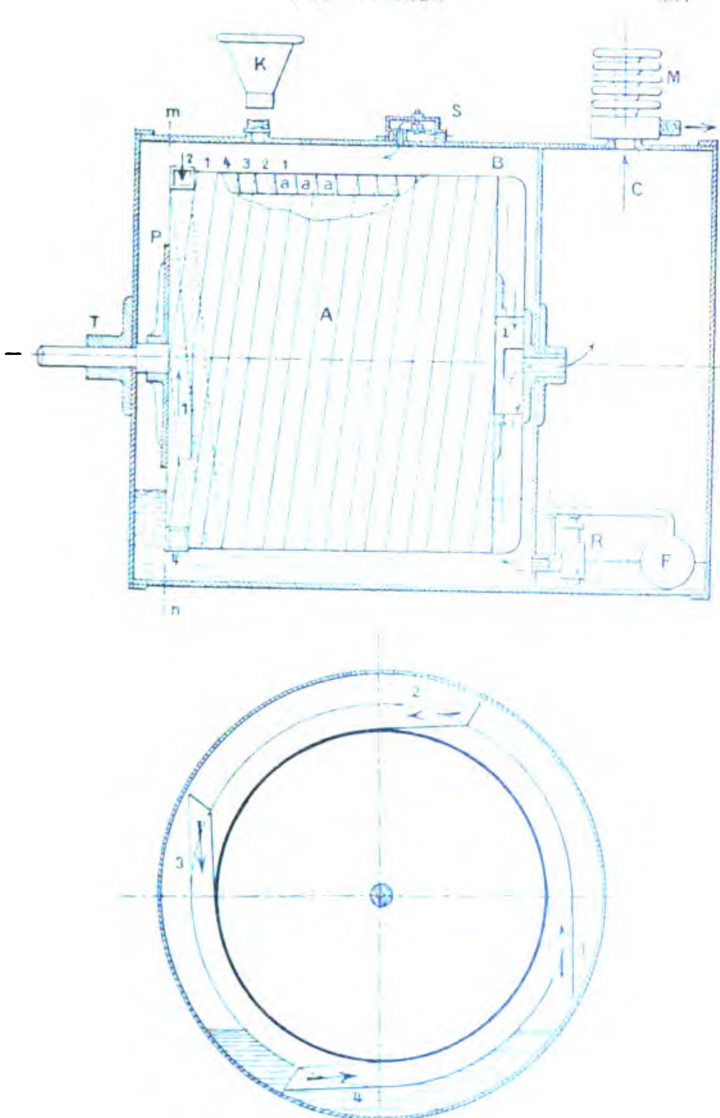


Fig. 161. — Carburateur compresseur Van [illegible]

par l'intermédiaire d'un conduit ménagé dans l'arbre. L'air comprimé mélangé de liquide s'accumule dans cette chambre; le liquide tombe au bas et peut, au moyen d'une soupape R manœuvrée par un flotteur F, pénétrer dans le cylindre-enveloppe lorsque le niveau atteint une certaine hauteur. L'entrée de l'air se fait par une soupape S s'ouvrant de l'extérieur à l'intérieur. Le débit de gaz est proportionnel à la consommation. Si, en effet, on diminue celle-ci, la pression augmente dans la conduite et ferme le régulateur de pression M, le gaz en excès dans la chambre pénètre avec la gazoline dans le cylindre-enveloppe, y crée une contre-pression qui ferme la soupape d'entrée d'air; l'appareil travaille à vide. Le mélange est assez intime, car le liquide et l'air pénètrent alternativement dans chaque tube, formant une colonne interrompue où le mélange a lieu à chaque révolution, soit quatre fois. Le cylindre est mû par une petite turbine ou par un petit moteur à air, chauffé par un bec d'air carburé. Un appareil de 10 becs demande comme emplacement $2^m \times 1^m$, et un de 600 becs, $2^m \times 10^m$.

L'inconvénient du système est que l'air étant carburé à saturation, il y a à craindre les condensations; cependant des essais ont montré qu'avec des variations de température de — 4 à — 12°, la gazoline recueillie par condensation atteignait 5,3 0/0 du poids total de gazoline contenu dans le gaz. Un litre de gazoline donne 750 litres de gaz pour éclairage direct à flamme, d'une puissance de 2 litres par bougie. Cet appareil est assez répandu en Hollande et en Suisse.

153. Doseur Guy. — Dans cet appareil, qui est la propriété de la Compagnie française du Gaz Aérogène, on a cherché surtout à éviter les condensations tout en ayant un gaz de composition constante. Il se compose, en principe, d'un compteur à gaz actionnant, par la rotation de son tambour, le doseur proprement dit au moyen d'une transmission par chaîne de Galle. Ce doseur est formé par un robinet à gouttes, ou à trois cavités (*fig.* 162), dont la capacité varie à l'aide de tiges pleines qu'on enfonce plus ou moins au moyen d'un volant extérieur, dans les cavités. On peut de cette façon modifier le débit du robinet. La gazoline arrive à la partie

supérieure du robinet, dont le bas communique avec le carburateur compresseur.

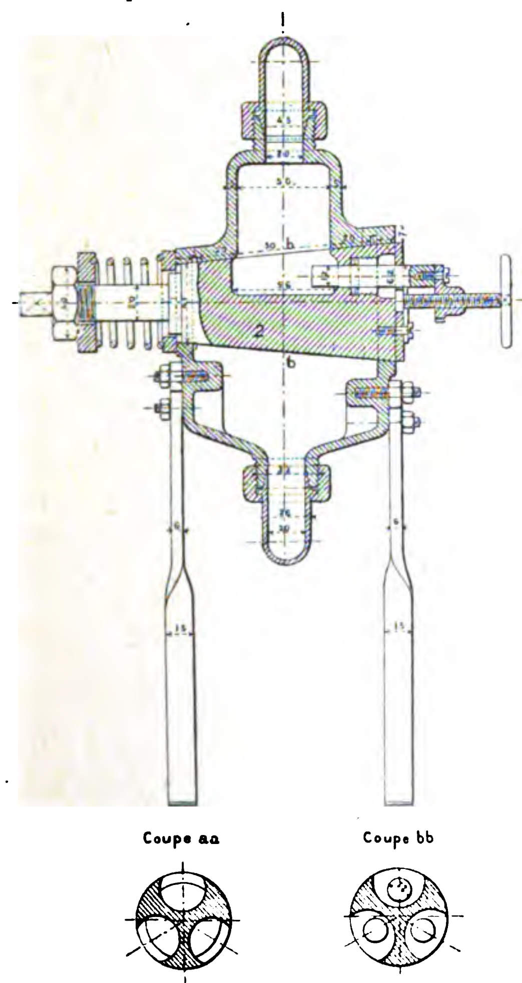


Fig. 162. — Doseur Guy.

Le carburateur compresseur est du système précédent,

mais rempli d'eau; c'est plutôt un compresseur qu'un carburateur, car la quantité d'essence à vaporiser se trouve mesurée à l'avance. Dans les petites installations, ce compresseur a été remplacé par un appareil analogue à un compteur aspirateur. Le gaz, à sa sortie du carburateur, se rend au compteur dont dépend le robinet doseur. Il s'ensuit que le débit du doseur est exactement proportionnel à la consommation du gaz.

Le carburant employé est un mélange de benzine (densité 0,680 à 0,710) et de gazoline (densité 0,650), dont les proportions varient suivant la température et toujours de manière à avoir le maximum de benzine, qui est le produit le plus économique. La consommation de gazoline est de 1 litre par 3 mètres cubes d'air pour l'éclairage à incandescence ; la puissance calorifique de ce gaz est de 2.600 calories et son intensité lumineuse de 25 litres par carcel.

Le système a été appliqué à la carburation du gaz de houille par le benzol à froid ; il suffit de remplacer sur le compresseur la soupape d'arrivée d'air par une prise de gaz. On ajoute 2 litres de benzol par 1.000 mètres cubes de gaz, et le mélange se fait avant le compteur de fabrication.

154. **Lumière Fischer.** — Le carburant est constitué par des huiles lourdes, notamment du benzol raffiné ou brut, du pétrole, etc. L'appareil producteur se compose d'un moteur à air chaud en communication avec un souffleur, d'une chaudière à air et d'un carburateur.

Le courant d'air produit par le moteur et la soufflerie est comprimé dans la chaudière à air et passe de là dans un carburateur. Ce dernier contient une quantité constante de liquide, qui se remplace automatiquement au fur et à mesure de la consommation. La production du gaz s'effectue à froid et à sec, et il est à remarquer qu'on n'emploie pas d'eau dans aucun des appareils, ce qui supprime tous les inconvénients d'une congélation et par suite d'une condensation du gaz.

La consommation horaire d'une flamme Fischer d'un pouvoir éclairant de 140 bougies est de 33^{gr},8 de benzol. Le pouvoir éclairant d'un brûleur à incandescence avec ce même gaz serait de 206 bougies.

Il existe encore un grand nombre de carburateurs, mais fort peu sont pratiques. Le gaz à l'air est surtout employé dans les localités où les autres modes d'éclairage à installations spéciales ne sont pas justifiés par suite du peu d'importance de la consommation ; on peut l'utiliser chez des particuliers soit pour le chauffage ou même la force motrice. L'installation est peu encombrante et peu coûteuse, mais elle nécessite de grandes précautions dans son mode d'emploi.

CHAPITRE IX

ÉCLAIRAGE PRIVÉ. — ÉCLAIRAGE PUBLIC

---

§ 1. — Éclairage privé

155. Dispositions des appareils. — *Raccords.* — Les brûleurs sont montés sur des appareils dont les formes ont été appropriées aux divers besoins. Quel que soit le modèle adopté, l'appareil en fer ou en cuivre reçoit, à une extrémité, le brûleur; à l'autre, il est réuni à la conduite en plomb par l'intermédiaire d'un tube en cuivre, ou raccord. Ce dernier se soude, d'un côté, au tuyau de plomb; l'autre, taraudé, est vissé à l'emmanchement femelle de l'appareil.

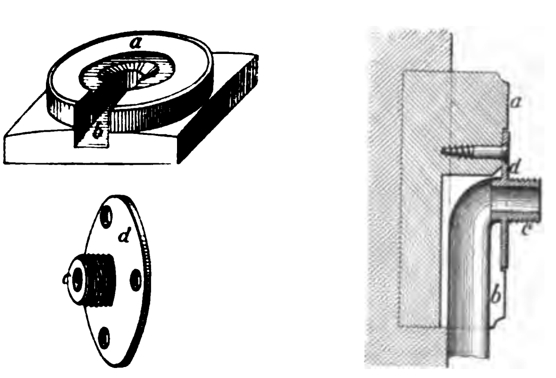


Fig. 163. — Raccord à patère.

Il y a deux sortes de raccords, celui à *patère* et celui à *cuvette*. Le premier (*fig.* 163), qui est le plus répandu, se com-

pose d'un petit disque en bois *a*, entaillé suivant un évidement circulaire dans lequel vient se loger une plaque de cuivre également circulaire, *d*, maintenue par trois vis. Le conduit en plomb pénètre dans la patère par une encoche *b* et se soude au raccord de cuivre. Cette soudure se fait en premier lieu. La patère est scellée au mur ou au plafond, soit simplement au plâtre, soit au moyen de clous à pattes. Lorsque le scellement est sec, on introduit par l'encoche la conduite en plomb, en même temps que le raccord de cuivre se place dans l'évidement. On met les vis; le raccord est prêt à recevoir l'appareil : il n'y aura plus qu'à le visser sur *c*.

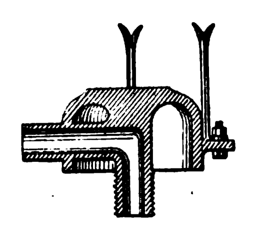


Fig. 164. — Raccord à cuvette.

Si l'appareil à supporter est trop lourd, on emploie le raccord à cuvette (*fig.* 164). Il se compose d'une cuvette en bronze portant des pattes traversées par des crochets en fer à scellement, qui viennent se fixer entre le plafond et le plancher. Très souvent même, pour plus de sûreté, on emploie des tirefonds avec des barres transversales, reposant sur la charpente. La cuvette est munie d'un raccord coudé, se soudant, d'un côté, à la conduite en plomb, et se vissant, de l'autre, à la tige de l'appareil. Au moyen d'une vis latérale traversant les deux tubes, on empêche tout déplacement.

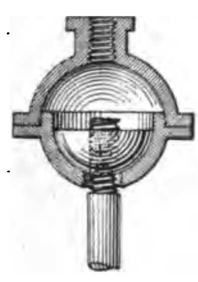


Fig. 165. — Noix à gaz.

La fixation définitive de l'appareil peut avoir des inconvénients, entre autres celui d'une rigidité excessive. On y remédie en employant un raccord spécial, dit *noix à gaz* (*fig.* 165).

Il comporte trois parties hémisphériques : deux extérieures, creuses, se vissant l'une sur l'autre; la troisième, qui supporte l'appareil, se loge dans le vide intérieur des deux premières; elle doit être rodée pour que le joint soit étanche. L'hémisphère supérieur se visse sur le raccord du plafond, et l'assemblage

est rendu invariable au moyen d'une vis latérale. La noix à gaz, comme toutes les parties frottantes des appareils, doit être graissée avec un lubréfiant parfaitement propre, qui, tout en facilitant les manœuvres, préserve des fuites.

Si on veut profiter d'un piton déjà existant sur un plafond, pour installer un appareil à gaz remplaçant une lampe à huile ou à pétrole, on se sert du *raccord à belière*. A cet effet, on amène le gaz à proximité du piton, au moyen d'un conduit en cuivre terminé par un raccord, qui servira à le relier à une pièce spéciale en laiton, appelée belière. La belière est constituée par un tube vertical, fermé à sa partie supérieure et fileté à la partie inférieure pour recevoir l'appareil à supporter ; latéralement, un ajutage taraudé peut se raccorder au tube d'amenée du gaz. La partie supérieure du cylindre porte deux disques enfourchant le piton ; un boulon traversant les disques assure la suspension du système.

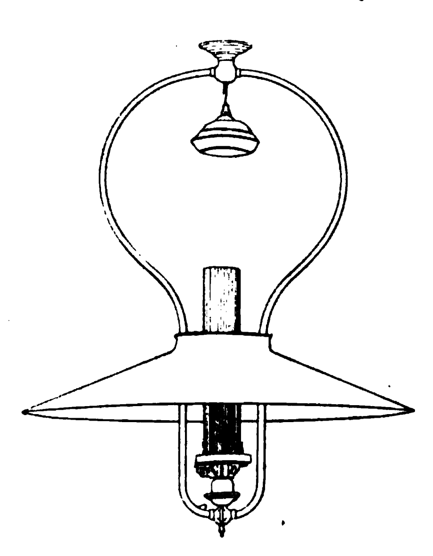


Fig. 166. — Lyre avec réflecteur.

Nature des appareils. — Lorsque l'appareil est suspendu et qu'il n'y a qu'un seul brûleur à l'extrémité, le tuyau d'amenée du gaz affecte la forme d'une *lyre* (*fig.* 166) ; une seule branche est creuse, l'autre ne sert que pour la symétrie ; on peut même la supprimer, et on a plus spécialement la *lampe de bureau* ou *d'atelier*. S'il y a deux brûleurs, on les place symétriquement à l'extrémité d'une tige horizontale,

ayant la forme d'un *té*. Au-dessus de deux brûleurs, on emploie des *lustres*, dont l'ornementation a une grande importance, car ils entrent pour beaucoup dans la décoration des appartements.

Dans certains cas, celui d'une salle à manger par exemple, on désire parfois placer le brûleur à des hauteurs différentes; la tige de descente est alors formée par deux tubes concentriques, dont l'un est fixe, et l'autre, mobile, porte la lampe équilibrée par un contrepoids. Le joint est rendu étanche au moyen d'une étoupe graissée ou d'un liège. On doit éviter l'emploi de ce système à cause des fuites qui s'y manifestent généralement.

Au lieu d'être fixé au plafond, le raccord peut être appliqué au mur ; l'appareil, vissé à la manière ordinaire, s'appelle *bras fixe ;* il est plus ou moins ornementé, à un ou plusieurs brûleurs. Pour l'éclairage des cours, des passages, on enferme le bras fixe sous un abri transparent pour le préserver du vent; on lui donne alors le nom de *manchon-applique*.

Très souvent, le bras fixe est rendu mobile autour d'un axe vertical, de manière à pouvoir déplacer la flamme dans un plan horizontal. Il est alors formé de plusieurs tubes articulés entre eux, et, suivant le nombre de tubes, on a la *genouillère* simple, double ou triple.

Enfin on peut avoir besoin de déplacer le brûleur dans tous les sens ; on remplace les tuyaux rigides par un tube flexible en caoutchouc, qui vient se fixer sur un téton muni d'un robinet monté sur la conduite fixe ; l'autre extrémité se raccorde à la *lampe mobile*. Il faut avec cet appareil prendre garde aux fuites qui peuvent se produire aux deux joints.

D'une manière générale, chaque brûleur doit être muni d'un robinet d'isolement à taquet, empêchant toute méprise dans la fermeture. Chaque fois qu'on veut éteindre tous les appareils, il faut commencer par fermer les robinets des brûleurs avant celui du compteur; on évite ainsi les fuites certaines qui se produiraient au moment du rallumage si, par inadvertance, on avait laissé des robinets d'appareils ouverts.

Le choix des appareils à l'intérieur des habitations est subordonné à la nature des locaux à éclairer ; de plus, l'ornementation doit correspondre à celle de la pièce. Lorsqu'il

s'agit d'éclairer un objet fixe, par exemple une table, on emploie une suspension, si elle est au milieu, ou des genouillères, si elle est adossée à un mur. Au contraire, s'il s'agit d'un éclairage général de tous les points, on se servira de lustres et de bras fixes, répartis convenablement.

156. Cheminées. — Globes. — Fumivores. — *Cheminées.* — Les becs ronds nécessitent l'emploi de cheminées en verre. Dans le cas de brûleurs ordinaires, on peut appliquer aux cheminées ce qui a été dit pour les lampes à huile ou à pétrole. On a imaginé plusieurs dispositifs : il y a eu des verres coudés, rétrécis dans le haut; mais on est revenu aux cheminées cylindriques, plus simples et plus économiques.

Pour les becs à incandescence, on emploie des cheminées absolument blanches ou légèrement teintées de rose pour corriger la lueur blafarde du manchon. Par suite de la grande chaleur dégagée par le bec, lorsque la cheminée est exposée aux courants d'air, on fait quelquefois usage de cheminées en mica ou de cheminées dites à baguettes. Ces dernières sont constituées par le groupement de baguettes de verre, appliquées l'une contre l'autre et réunies à leurs extrémités par une couronne métallique. Elles n'absorbent que 12 0/0 de lumière, tandis que celles en mica retiennent 30 à 40 0/0; par contre, il est difficile de les maintenir parfaitement propres, la poussière se logeant entre les baguettes.

Depuis quelque temps on fait usage pour les becs à incandescence de cheminées perforées latéralement dans leur partie inférieure (Voir n° 112, p. 256).

Globes. — A l'intérieur des habitations, les becs à flamme libre et même ceux à cheminée sont souvent entourés d'un globe en verre clair ou opalin. Tout en donnant plus de fixité à la flamme pour les becs à air libre, ils permettent d'obtenir une lumière plus diffuse. Dans les brûleurs à cheminée, le globe repose directement sur la galerie de la cheminée; dans ceux à flamme libre, ils sont maintenus au moyen d'un support à griffes à trois branches. L'ouverture du bas ne doit pas être trop grande (0m,08), sous peine de

créer un courant d'air trop vif qui agite la flamme. Par contre, certains globes, en forme de tulipes, sont trop ouverts du haut et pas assez du bas. La nature du verre joue un grand rôle dans le rendement lumineux ; les globes dits *opalins* absorbent de 40 à 60 0/0 de la lumière, les globes *émaillés* sont encore plus défectueux et ne peuvent servir qu'à donner une coloration particulière à la lumière. Ceux en verre *dépoli* sont préférables.

On emploie également les globes *holophanes*, que nous retrouverons au chapitre de l'*éclairage électrique*.

Fumivores. — Pour préserver les plafonds des dépôts de fumée que certains brûleurs peuvent laisser échapper accidentellement, on place au-dessus de ceux-ci des obturateurs ou fumivores, formés par une petite cloche en porcelaine émaillée ou en tôle vernie. Leur hauteur au-dessus du bec dépend de la nature de ce dernier ; elle ne doit pas être trop élevée pour bien arrêter le jet des gaz de la combustion et l'empêcher de se disperser. Le fumivore se fixe généralement au moyen d'un crochet au tube même d'alimentation du gaz.

157. Réflecteurs. — Lorsqu'il s'agit de ramener la lumière dans certaines directions, on a recours à des réflecteurs dont la forme est étudiée en vue des résultats à obtenir. Leur emploi est indispensable lorsque l'on veut éclairer la portion de l'espace située au-dessous des foyers lumineux. Généralement, le réflecteur a alors une forme conique ou sphérique ; la première donne un faisceau à rayons divergents ; la seconde, au contraire, un faisceau à rayons sensiblement parallèles, à la condition que le brûleur soit au foyer principal. Ils se font en porcelaine blanche ou de couleur, en tôle émaillée, rarement nickelée, car la fumée ne tarderait pas à les noircir, à moins toutefois d'employer des becs à cheminée évacuant les gaz brûlés au-dessus du réflecteur. Le mode de suspension est également variable ; presque toujours le réflecteur est supporté par un cercle avec deux ou trois branches prenant leur point d'appui sur la monture du bec lui-même.

§ 2. — Éclairage public

158. Lanternes. — Les brûleurs destinés à l'éclairage extérieur doivent être enfermés dans des abris vitrés ou lan-

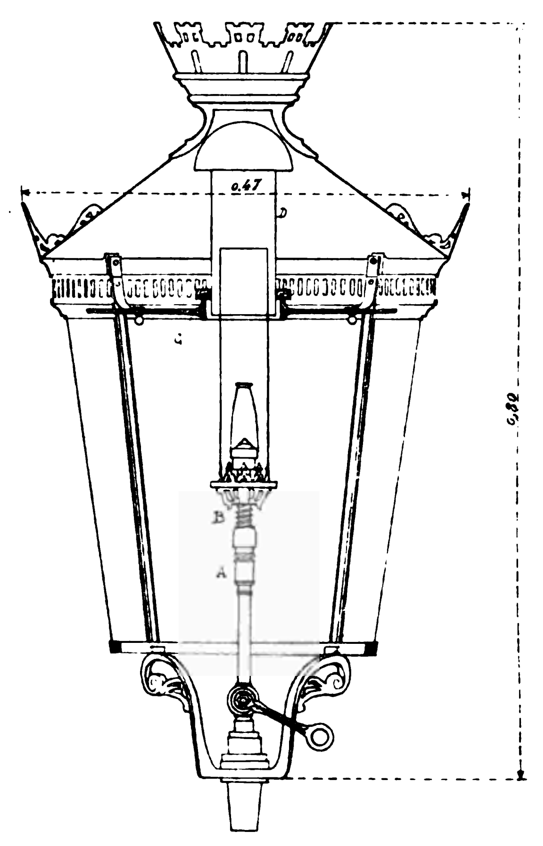


Fig. 167. — Lanterne ronde avec bec Auer n° 2 et antitrépidateur à ressort. A, rhéomètre ; — B, antitrépidateur à ressort ; — C, réflecteur en porcelaine ; D, cheminée coupe-vent en cuivre.

ternes. Comme on l'a expliqué à propos des lanternes pour lampes à huile, l'abri doit présenter les ouvertures néces-

saires pour l'admission de l'air et l'échappement des produits de la combustion avec les dispositifs complémentaires propres à empêcher toute fluctuation de la flamme.

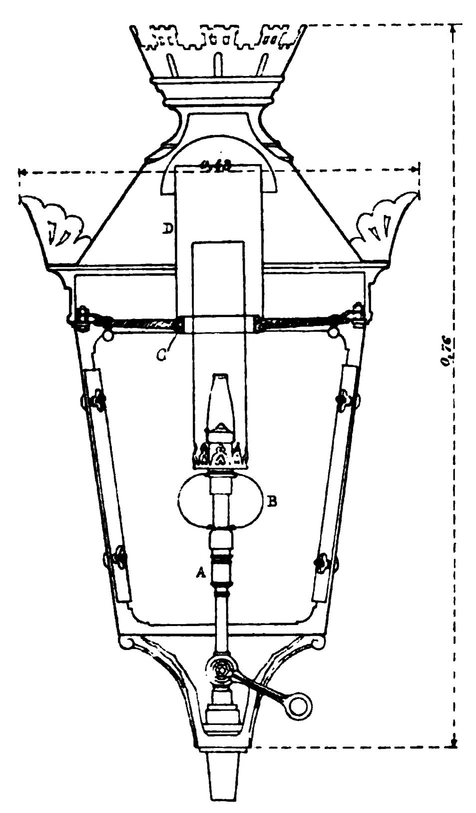


Fig. 168. — Lanterne carrée avec bec Auer n° 2 et antitrépidateur à lamelles.
A, rhéomètre; — B, antitrépidateur à lamelles; — C, réflecteur en porcelaine D, cheminée brise-vent en cuivre.

Il existe une assez grande variété de lanternes.

Une des plus simples consiste en deux troncs de pyramide accolés par la grande base : la pyramide supérieure est surmontée d'un chapiteau. Les arêtes et le chapiteau sont métal-

liques : les diverses faces sont garnies de vitres ; quelquefois les faces de la pyramide supérieure sont munies de plaques de tôle blanchie formant réflecteur. On peut encore, comme dans le dispositif Despons, remplacer une des faces pleines par une plaque transparente à inscription sur laquelle on envoie de la lumière au moyen d'un miroir permettant de lire l'inscription. L'une des faces du tronc inférieur est à charnière pour faciliter le nettoyage intérieur. Le fond, généralement vitré, reçoit une petite porte ou trapillon, constitué par un treillis métallique pour le passage de l'air : l'ouverture du trapillon permet l'introduction de l'allumoir.

A Paris, deux types de lanternes sont particulièrement employés ; tous deux ont les parties métalliques en bronze : la lanterne dite *carrée* est réservée pour les voies de médiocre importance ; la lanterne dite *ronde*, de forme tronconique, est employée dans les voies principales : la lanterne ronde s'harmonise généralement mieux que la lanterne carrée avec la silhouette des candélabres placés en bordure du trottoir ; par contre, elle est d'un entretien plus coûteux, à cause des vitres qui sont bombées et conséquemment plus chères que les verres plats des lanternes carrées.

L'aménagement des lanternes nécessite des soins tout particuliers lorsqu'elles doivent loger des becs à incandescence : les figures 167 et 168 représentent en détail les dispositions adoptées à Paris pour l'appareillage des lanternes rondes et carrées munies de becs Auer n° 2.

159. Candélabres. — Les lanternes peuvent être suspendues, c'est le cas pour l'éclairage des passages couverts. Le tube d'amenée du gaz supporte la lanterne même ; il descend, lorsque le brûleur n'est pas à flamme en dessous, le long d'un des montants de l'appareil pour se redresser ensuite au milieu, où il se raccorde avec le chandelier du brûleur vertical.

Le plus souvent, les lanternes sont montées sur des colonnes fixes, ou *candélabres*, disposées le long des trottoirs (*fig.* 169). Ils sont généralement en fonte, recouverts d'une peinture ou d'un dépôt galvanique (système Oudry). L'aspect de ces derniers est plus satisfaisant.

Les candélabres employés par la Ville de Paris (modèle Oudry) sont composés d'un scellement de $0^m,65$ de hauteur, d'une borne de $0^m,75$, et d'un fût dont la hauteur est de $1^m,85$, 2mètres, $2^m,15$ ou $2^m,30$.

Le fût s'emboîte dans la borne et y est fixé par trois bou-

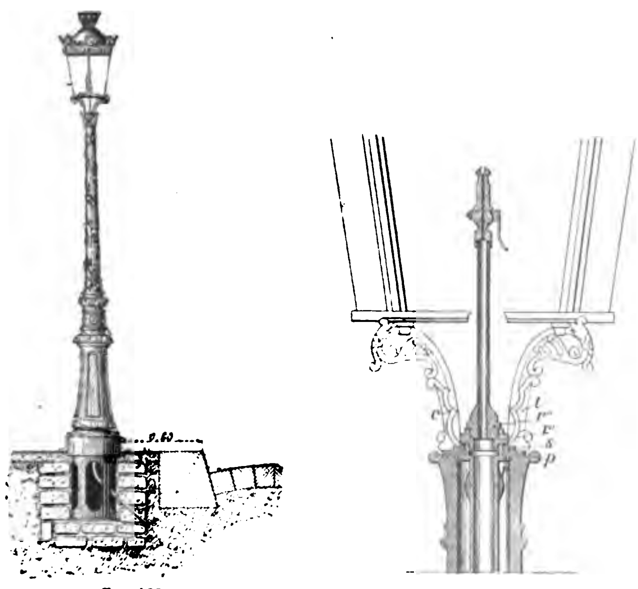


Fig. 169.
Candélabre.

Fig. 170.
Raccordement d'une lanterne sur son candélabre.

lons. Les candélabres sont scellés au plâtre dans un massif de maçonnerie de moellons ou de briques.

Le tuyau de branchement, qui est en plomb de $0^m,027$, pénètre dans le candélabre par les évidements ménagés dans le scellement, et se raccorde avec la chandelle du bec logé dans la lanterne (*fig.* 170) par l'intermédiaire :

1° D'un raccord de plomberie *r*, traversant une plaque-crapaudine *p*, fixée par des vis sur la tête du candélabre ;

2° D'un raccord *r'*, qui vient se visser sur le raccord *r* et muni lui-même, intérieurement, d'un filet destiné à rece-

voir le raccord r'' servant de base à la chandelle du bec. Un épaulement ménagé à la partie inférieure du raccord r est destiné à caler les croisillons c de la lanterne, sur la plaque-crapaudine p, au moyen d'une bague (s).

160. Candélabres-consoles. — Consoles à scellement. — Lorsque les trottoirs sont étroits, on remplace les candélabres ordinaires par des *candélabres-consoles* disposés contre la façade des immeubles riverains (*fig.* 171).

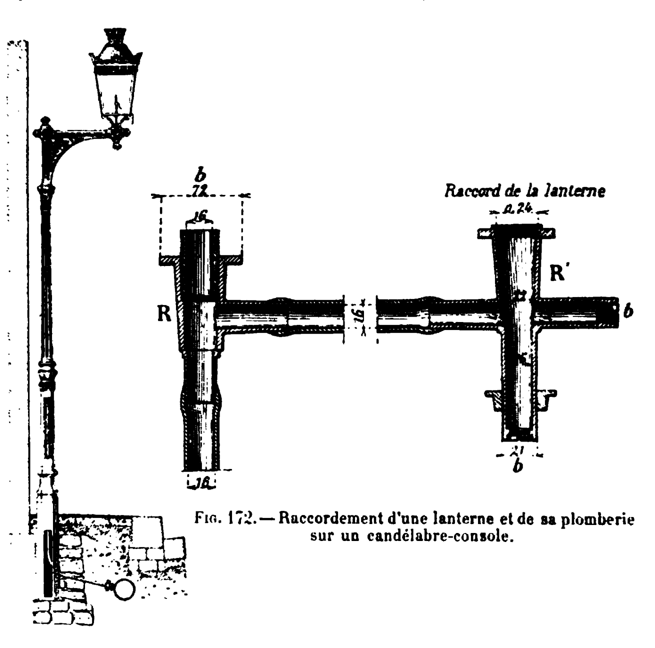


Fig. 172. — Raccordement d'une lanterne et de sa plomberie sur un candélabre-console.

Fig. 171. Candélabre-console.

A Paris, le candélabre-console se compose de deux parties principales : la partie inférieure, en un seul morceau, de 1^{m},70 de hauteur, comporte le scellement et la base ; la partie supérieure, qui s'emboîte dans la précédente, comprend le fût vertical de 2^{m},10 de hauteur et la console de 0^{m},60 de lon-

gueur, venus ensemble de fonte. Sur les extrémités de la console (*fig.* 172) reposent deux raccords en laiton destinés, l'un R' à recevoir la lanterne, l'autre R à assurer la continuité du tube d'alimentation. Ce dernier, à trois voies, est muni d'une crapaudine et d'un écrou obturateur à sa partie supérieure.

Le branchement destiné à l'alimentation des candélabres-consoles est en plomb de $0^m,027$ depuis la conduite jusqu'au pied du candélabre ; à partir de ce point, le diamètre est réduit à 16 millimètres. Dans la partie noyée dans le sol, le plomb, incliné vers la conduite pour l'écoulement des eaux condensées, doit reposer sur une volige qui empêche sa déformation.

La partie verticale de la plomberie est disposée à l'intérieur de la base et du fût du candélabre ; elle se soude à la tubulure inférieure du raccord de jonction R. La portion horizontale, placée dans une rainure ménagée à la partie supérieure de la console, est soudée par ses extrémités, d'une part à la tubulure de droite du raccord de jonction, d'autre part à la tubulure de gauche du raccord de la lanterne R'. Des bouchons *b* permettent le dégorgement de la canalisation.

Enfin, dans certains cas, on peut employer, pour supporter les lanternes, de simples consoles scellées dans les murs de façade des maisons.

Le tuyau en plomb amenant le gaz est alors noyé dans la maçonnerie de la façade ; cette disposition a des inconvénients graves, car elle peut causer des infiltrations de gaz dans les habitations ; de plus, en cas d'incendie, le danger est augmenté. A ces divers points de vue, les candélabres-consoles sont préférables.

Il existe encore un grand nombre d'appareils appropriés à l'éclairage extérieur : c'est ainsi qu'on avait imaginé des candélabres à trois et cinq lanternes ; mais l'apparition des brûleurs intensifs a rendu cette complication inutile.

161. Brûleurs employés. — Au début, on n'employait que des brûleurs à air libre. La consommation était fixée d'après un brûleur-type. A Paris, il y avait trois séries de becs papillons prévus au cahier des charges de la Compagnie du gaz :

				FLAMME	
		litres	bec	largeur	hauteur
1re	série consommant	100	4/10	5c,00	4c,00
2e	— —	140	6/10	7 ,00	6 ,00
3e	— —	200 qui n'a pas été employé			

A ces divers becs sont venus s'ajouter, depuis, les brûleurs intensifs à air froid en 1878, puis à air chaud en 1888, enfin les brûleurs à incandescence à gaz froid en 1894 et à gaz chaud en 1897. Dans le cas de becs intensifs à récupération, il faut employer les fortes consommations qui permettent de réduire le nombre des appareils, tout en ayant un rendement meilleur; à cet égard, il paraît convenable de ne pas employer des foyers d'un débit inférieur à 350 ou 400 litres. Quant à la conduite d'amenée du gaz, elle doit être suffisante pour n'avoir pas à craindre l'obstruction par la naphtaline en cas de gelée; le diamètre de 0m,027 assure toute sécurité à cet égard.

162. Accessoires des brûleurs à incandescence employés à l'éclairage public. — *Antitrépidateurs.* — Les vibrations du sol produites par la circulation des véhicules, en se répercutant sur les candélabres d'éclairage des voies publiques, exercent une action destructive très prononcée sur les manchons à incandescence dont ils sont pourvus. On s'est donc efforcé d'atténuer cette action en adaptant aux brûleurs des accessoires spéciaux destinés à absorber la plus grande partie de ces vibrations.

A Paris, des expériences très suivies, faites sur de nombreux antitrépidateurs, ont prouvé que l'usure des manchons variait de près de 50 0/0 suivant le modèle employé; le système paraissant donner les meilleurs résultats est l'antitrépidateur à lamelles (*fig.* 173), tel qu'il est construit par la Société française d'incandescence par le gaz. Il atteint assez convenablement le but proposé, puisqu'il exerce son action dans le sens vertical et dans le sens latéral.

Avec cet antitrépidateur, le nombre des remplacements de manchons est, sur les voies parisiennes, d'environ 5 par an, étant entendu qu'il s'agit de manchons marque Auer.

La Ville de Paris emploie aussi des antitrépidateurs constitués par un simple *ressort à boudin* (*fig.* 174); mais cet appareil est moins efficace que le précédent.

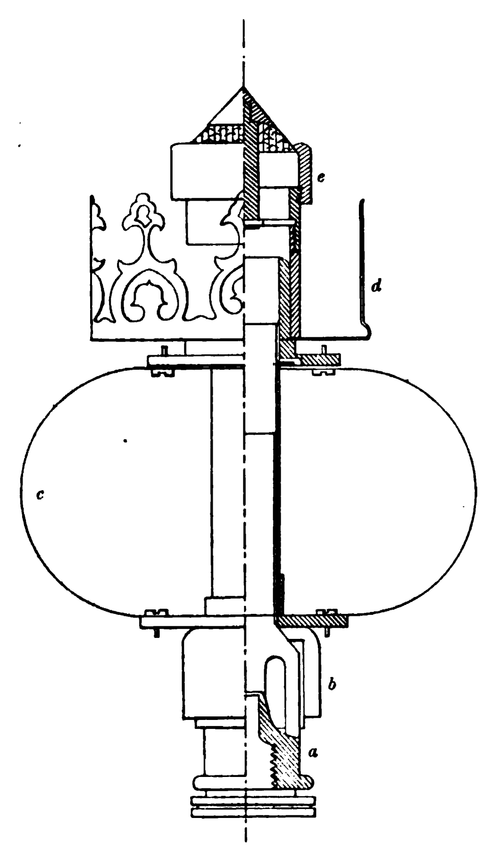


Fig. 173. — Bec Auer monté sur antitrépidateur à lamelles.
a, éjecteur ; — *b*, clochette entourant les orifices d'entrée d'air ; — *c*, lamelles en acier ; — *d*, galerie porte-cheminée ; — *e*, tête du brûleur.

On a récemment imaginé des antitrépidateurs à billes constitués en principe par deux plateaux horizontaux séparés par des billes de roulement ; le plateau inférieur se visse sur

le raccord d'arrivée du gaz; le plateau supérieur reçoit le brûleur à incandescence; ces appareils, dont quelques-uns sont en expérimentation sur les voies parisiennes, donnent d'assez bons résultats; mais il est à craindre qu'à l'usage la poussière ne paralyse l'action des billes.

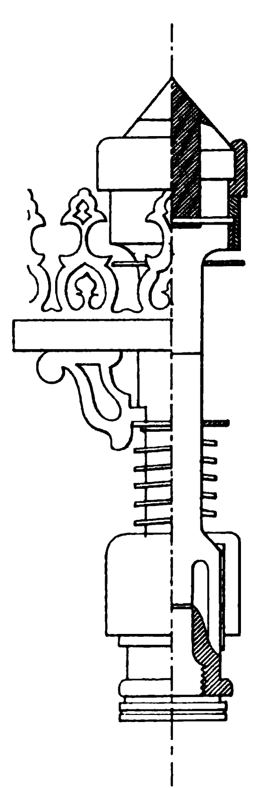


Fig. 174. — Bec Auer monté sur antitrépidateur à ressort à boudin.

Verrerie. — Les cheminées employées dans les brûleurs à incandescence doivent être d'excellente qualité, en raison de la chaleur qu'elles ont à supporter. A ce point de vue, de grands progrès ont été réalisés en ces dernières années. Nous citerons notamment la verrerie d'Iéna et les verres silichromés de fabrication française. A Paris, ces deux marques sont employées sur les becs à incandescence placés sur les voies publiques ; les cheminées ont un diamètre de 0m,05 et une hauteur de 0m,22 ; la fréquence de leur remplacement est de 4 par an et par bec.

Depuis quelque temps on utilise des cheminées perforées à leur base, notamment pour les brûleurs Bandsept (Voir n° 112).

Ces cheminées exaltent le rendement lumineux du manchon ; par contre, l'afflux d'air pénétrant par ces orifices latéraux exerce une action destructive sur la base du manchon.

Entretien des manchons et des cheminées. — L'entretien des becs à incandescence placés sur les voies publiques nécessite une attention soutenue; les injecteurs des brûleurs ainsi

que les grilles métalliques placées à l'orifice des brûleurs doivent être nettoyés fréquemment et le réglage des prises d'air vérifié de temps en temps. A Paris, où la circulation des voitures et le balayage fréquent des voies publiques favorisent les poussières, ces précautions s'imposent tout particulièrement. Dans la section en régie du Service municipal de l'Eclairage, le remplacement des manchons se fait par échange d'appareils, l'opération intéressant à la fois la galerie, la cheminée et le manchon pour les becs Auer, la grille porte-manchon et le manchon pour les becs intensifs à air libre (Denayrouze, Saint-Paul, Bandsept). Les galeries, grilles et cheminées sont ainsi échangées au moins aussi fréquemment que les manchons : ces galeries et ces grilles, après nettoyage aux ateliers, servent au montage de nouveaux manchons. La mise en service d'un nouveau manchon doit être faite avec soin. Comme ces accessoires sont collodionnés, il est avantageux, dès la mise en place d'un nouveau manchon, de détruire la chemise de collodion en flambant le manchon avec une allumette, puis de recuire partiellement celui-ci en faisant brûler le bunsen, le robinet du gaz n'étant qu'entr'ouvert. Il faut éviter que la destruction de la chemise de collodion soit faite simultanément avec l'allumage définitif du foyer, cette façon de procéder entraînant le plus souvent la détérioration du tissu du manchon.

Réflecteurs. — Les premières lanternes appareillées avec des brûleurs à incandescence pour le service d'éclairage public de Paris (année 1894) étaient pourvues de réflecteurs en tôle émaillée.

L'entretien de ces accessoires était très laborieux, l'émail étant rapidement détruit par l'action de la chaleur dégagée par le foyer. Depuis deux ans, les réflecteurs sont exclusivement constitués en porcelaine ; ces derniers résistent très bien à la chaleur ; en outre, leur nettoyage est très facile.

Rhéomètres. — Dans certaines villes, notamment à Paris, les becs à incandescence employés pour l'éclairage de la voie publique sont pourvus de rhéomètres (Voir n° 167) destinés à

rendre constant le débit des brûleurs. Ces accessoires, dont les organes, particulièrement délicats, sont fréquemment encrassés par la poussière et les condensations du gaz, sont assez souvent une cause de mauvais fonctionnement des brûleurs. Il est préférable, dans un service d'éclairage public, de s'affranchir d'appareils dont l'entretien est aussi délicat et de faire emploi de brûleurs dont la construction a été conçue en vue d'un débit de gaz déterminé, sous la pression moyenne d'utilisation, pendant les heures de plein éclairage; les limites extrêmes de la pression pendant la période correspondante ne sont d'ailleurs jamais très différentes.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on veut faire emploi de rhéomètres, il faut avoir soin de tenir compte de l'influence exercée sur le débit de ces appareils par le fonctionnement des brûleurs; à cet égard, il est indispensable de régler les rhéomètres non pas isolément, mais munis des brûleurs auxquels ils doivent être adaptés.

Dans certaines installations d'éclairage public, des rhéomètres, réglés isolément pour un débit déterminé, ont été disposés sous des brûleurs à incandescence qui avaient été construits en vue d'un débit identique sous la pression moyenne d'utilisation. Par cette pratique irrationnelle, les brûleurs ne peuvent plus fonctionner normalement, attendu que leur débit est amoindri par la chute de pression résultant de l'intercalation du rhéomètre; dans certains exemples, on a pu constater que tel brûleur à incandescence, qui avait été établi pour un débit de 250 litres, dans l'hypothèse de son fonctionnement au gaz courant, ne pouvait plus débiter que 200 litres après adaptation d'un rhéomètre réglé isolément pour un débit de 250 litres. Cet écart considérable représentait dès lors du gaz payé et non utilisé. Il est donc très important de coordonner la construction et le réglage des rhéomètres au type des brûleurs auxquels ils doivent être associés.

Fréquence du remplacement des manchons et cheminées. — Les statistiques tenues dans un service d'éclairage des voies publiques d'une ville très importante permettent de préciser la fréquence du remplacement des manchons et cheminées

conformément aux indications du tableau ci-après. Il va sans dire que ces fréquences s'accordent avec les nécessités d'un parfait entretien.

DÉSIGNATION DES FOYERS	NOMBRE D'ACCESSOIRES REMPLACÉS ANNUELLEMENT PAR FOYER	
	MANCHONS (marque Auer)	CHEMINÉES (marque Iéna)
Auer n° 2 (débit 115 litres)...	5	4
Auer n° 3 (débit 150 litres)...	7	5
Saint-Paul (débit 250 litres)...	16	néant
Denayrouze (débit 270 litres)...	16	néant
Bandsept (débit 300 litres)...	15	10

Les autres parties de l'appareillage : réflecteurs, rhéomètres, grilles, antitrépidateurs, donnent lieu à une charge d'entretien qui peut être estimée à 0 fr. 75 par an pour acquisition des accessoires. Les frais de remplacement des vitres des lanternes sont d'environ 0 fr. 45 par an pour les lanternes à verres bombés et 0 fr. 10 pour celles à verres plats.

Enfin la main-d'œuvre générale nécessitée pour le remplacement des accessoires : manchons, cheminées, vitrerie, antitrépidateurs, rhéomètres, etc., peut être comptée pour 2 fr. 50 par bec et par an. Ce prix résulte de l'emploi d'un personnel ouvrier payé au tarif de 0 fr. 60 l'heure, occupé en permanence et travaillant neuf heures par jour.

§ 3. — Allumage des foyers

163. **Brûleurs à flamme.** — *Becs ordinaires.* — Dans le cas des brûleurs ordinaires à air libre, la question ne présente qu'un intérêt secondaire; cependant, en ce qui concerne l'éclairage public, il y a avantage à avoir un allumage assez rapide. Il se fait généralement au moyen d'une petite lampe à huile de colza fixée à l'extrémité d'une perche. La flamme est enfermée dans un capuchon muni de petits volets qui la

préservent contre le vent. Au-dessus du capuchon, on place un crochet pour la manœuvre du robinet-bascule. Lorsque le brûleur est à rhéomètre, l'allumeur ouvre le bec en grand; dans le cas contraire, il se guide sur la largeur de la flamme pour les becs papillons[1]. Un allumeur, suivant un itinéraire déterminé, allume 60 à 70 becs en quarante minutes, l'espacement moyen des appareils étant d'environ 40 mètres.

Becs à récupération. — Avec les becs à récupération, l'allumage, même pour les appareils d'intérieur, est assez délicat : il faut ouvrir la coupe pour accéder au brûleur. Un grand nombre de dispositifs ont été imaginés pour faciliter cette opération : l'emploi d'une rampe, d'une veilleuse permanente, ou bien encore d'une coupe munie à sa partie inférieure d'une bille en verre obturant une ouverture circulaire, sont les moyens les plus répandus.

Pour les foyers employés à l'éclairage public, on a généralement recours à la veilleuse ou à un allumoir électrique.

La veilleuse a comme inconvénient d'occasionner pendant le jour une dépense de gaz en pure perte; si le brûleur est à forte consommation, l'augmentation de dépense (15 litres à l'heure) qui en résulte est relativement insignifiante; s'il est à faible débit, l'application de la veilleuse est inadmissible. L'allumage électrique, qui s'obtient en faisant jaillir au-dessus du brûleur une étincelle de rupture ou bien encore en portant un fil à l'incandescence, a contre lui l'obligation d'une installation toute spéciale, souvent de courte durée. Le système du fil incandescent a dû même être abandonné pour ce motif. Le procédé par l'étincelle de rupture est préférable; le candélabre porte deux fils isolés que l'allumeur met en communication avec une pile réversible; il suffit de rompre le passage du courant pour produire l'étincelle.

164. Brûleurs à incandescence. — Dans le cas des becs à incandescence, l'opération de l'allumage est extrêmement importante : la conservation des manchons se ressent en effet considérablement du procédé d'allumage employé : il faut

1. A Paris, l'ancien papillon de 6/10, d'un débit de 140 litres, avait une flamme de 0m,06 de hauteur et 0m,07 de largeur.

s'attacher à réduire les vibrations imprimées par la manœuvre des robinets et à éviter les explosions dans la cheminée de verre qui protège le manchon ; enfin, l'allumage doit être rapide et sûr. Nous décrirons ci-après les principaux dispositifs employés à Paris, depuis l'application des becs à incandescence à l'éclairage public.

Allumage à la rampe ordinaire. — Ce dispositif nécessite l'emploi d'un robinet à trois voies permettant d'envoyer le gaz, suivant l'orientation de la clé, soit au brûleur, soit à un tube latéral ou rampe, soit aux deux simultanément. Ce tube latéral (*fig.* 175) est percé de petits trous qui s'enflamment successivement en présence d'une lampe d'allumage, lorsque le gaz a été dirigé sur la rampe.



Fig. 175. Allumage à la rampe.

En continuant d'ouvrir le robinet, le gaz pénètre sous le manchon, chasse l'air et s'allume finalement au contact de la flamme de la rampe, qui d'ailleurs ne reçoit plus de gaz lorsque le robinet est ouvert à fond.

Le robinet étant placé sous la lanterne, le tube formant rampe doit nécessairement traverser le verre de fond par un trou convenablement disposé.

Ce système est insuffisant lorsque le vent souffle ; de plus, les trous de la rampe se bouchent assez rapidement, s'ils ne sont pas fréquemment nettoyés.

Allumage à la cuillère. — Au-dessus du bec, on dispose une coupe métallique renversée ou cuillère, amenant le gaz extérieurement par un ajutage horizontal. Il suffit, pour allumer le brûleur, d'ouvrir en grand le robinet et d'enflammer, au moyen d'une lampe, le jet gazeux par l'ajutage extérieur (*fig.* 176). La flamme se communique jusque sous le manchon. Ce système, qui a été appliqué sur une grande échelle aux premiers appareils Auer, installés à Paris en 1894, est assez efficace ; par contre, il a l'inconvénient

d'ébranler le manchon, par suite de la légère explosion produite à l'allumage dans la cheminée de verre.

Lampe d'allumage de la Compagnie parisienne du Gaz. — Elle est en deux parties (*fig.* 177) :

1° Une lampe à huile ordinaire permettant l'allumage des becs papillons, par contact direct de la flamme et du gaz

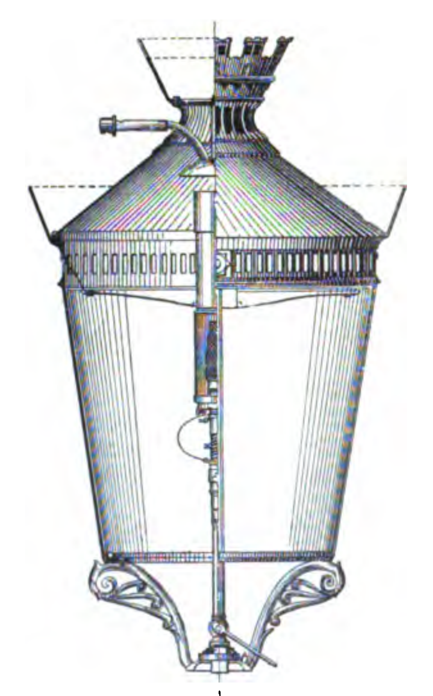


Fig. 176. — Allumage à la cuillère.

au travers des trous percés dans la paroi latérale du chapeau mobile. La flamme de cette lampe est protégée, contre les courants d'air, par un cône en toile métallique ;

2° Un vaporisateur dont on se sert pour l'allumage des brûleurs à incandescence. On y distingue un réservoir à alcool dans la partie supérieure duquel débouche le tube

d'injection d'air relié par un conduit ménagé dans l'intérieur de la perche à une poire en caoutchouc.

Un second tube, partant du fond du réservoir à alcool, se termine par un ajutage pulvérisateur, qui, lorsqu'on presse

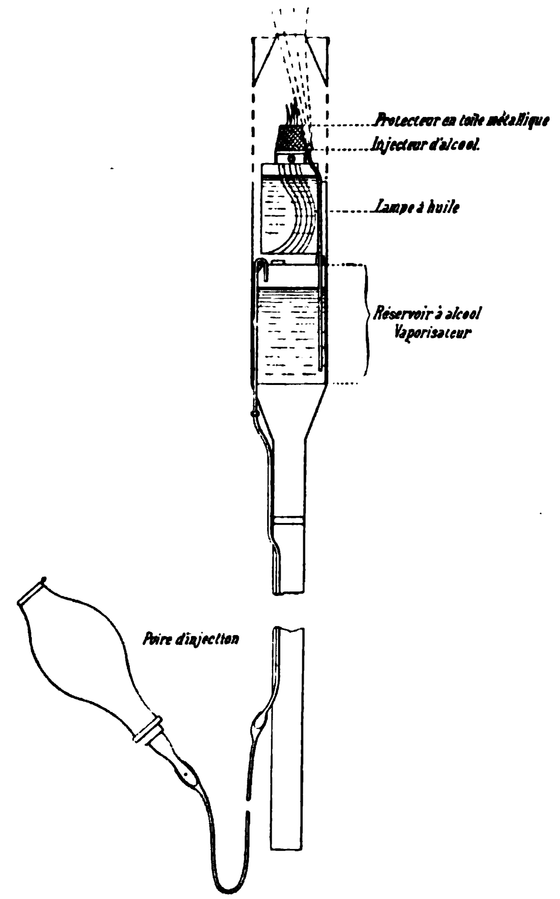


Fig. 177. — Lampe d'allumage de la Compagnie parisienne du Gaz.

la poire, lance vers l'orifice conique pratiqué dans le haut du chapeau mobile un jet inflammable.

Ce jet, dont la longueur en dehors de la lampe mesure environ 0m,20, s'enflamme au contact de la flamme de la lampe à huile et atteint le point d'inflammation des brûleurs sans que la lampe pénètre dans la lanterne.

La manœuvre de cette lampe d'allumage est très simple : l'allumeur, tenant la perche de la main droite, ouvre avec celle-ci le trapillon mobile du fond de la lanterne et engage légèrement la lampe dans l'ouverture ainsi obtenue ; il fait ensuite pression sur la poire en caoutchouc tenue dans la main gauche, un jet d'alcool enflammé s'échappe de la lampe et vient allumer, par-dessous, le bec à incandescence intéressé; la lampe de la Compagnie parisienne du Gaz est depuis 1903 d'un emploi général à Paris pour l'allumage des becs à incandescence : l'allumage est ainsi très rapidement opéré.

Allumage électrique. — En vue d'atténuer le plus possible les vibrations causées par la manœuvre des trapillons mobiles, on a appliqué l'électricité à l'allumage des becs à incandescence. Parmi les nombreux dispositifs préconisés, celui qui paraît avoir donné les meilleurs résultats est l'appareil adopté par la Compagnie française du Centre et du Midi pour l'éclairage au gaz. Il est appliqué avec succès dans un assez grand nombre de villes.

L'ensemble du système se compose (*fig.* 178) : d'une clochette en porcelaine *f*, disposée au-dessous de la lanterne et portant une gorge profonde qui empêche l'eau de pluie de pénétrer à l'intérieur. Dans cette clochette se trouvent fixés : un cercle en cuivre, à la partie inférieure et à la partie supérieure, un contact en cuivre pressé par un ressort.

De ces deux contacts partent des fils conducteurs *d*, à très fort isolement, passant dans l'intérieur de la lanterne et venant aboutir à deux bornes placées sur une pièce en bronze *a* surmontant la cheminée du bec à allumer. L'une des bornes est en contact avec la masse, l'autre avec un fil de platine qui passe au centre d'un bouchon en porcelaine *c* rapporté sur la pièce en bronze. Un deuxième fil de platine est relié à la masse. C'est entre les extrémités de ces deux fils de platine que jaillit l'étincelle qui doit enflammer le gaz.

L'étincelle est produite par une bobine d'induction, actionnée par une pile sèche, le tout disposé dans une boîte portée par l'allumeur. Un bouton-poussoir, placé sur la boîte, permet de fermer le circuit de la pile sur la bobine d'induction

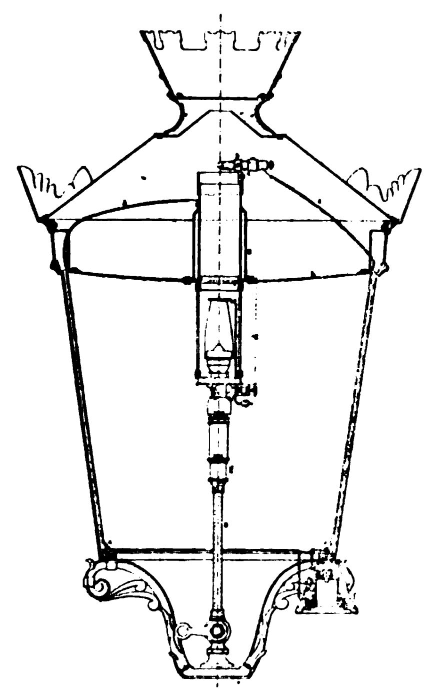


Fig. 178. — Allumage électrique.

au moment voulu. Le courant secondaire de la bobine est recueilli à l'extérieur de la boîte sur deux bornes, dans lesquelles l'allumeur ajuste des chevilles fixées à l'extrémité des fils amenant le courant à la lanterne.

Une perche en bambou reçoit à l'intérieur les deux fils électriques qui font communiquer la bobine d'induction de la boîte avec la disposition électrique de la lanterne.

La perche porte, à son extrémité supérieure, une douille

en laiton, qui reçoit un bouchon isolant d'une forme spéciale. Ce bouchon porte, à sa partie inférieure, un cercle en laiton serti au tour, et à sa partie supérieure un bouton en laiton.

Le cercle et le bouton sont chacun en communication avec l'un des fils conducteurs. Le bouchon isolant affecte, dans l'intervalle du cercle et du bouton, la forme d'un champignon, de façon à empêcher l'eau de pluie de former un court-circuit entre les deux contacts.

Pour allumer, on introduit l'extrémité de la perche dans la clochette en porcelaine de la lanterne, après avoir ouvert le robinet du gaz. Les contacts de la perche se trouvent alors en communication avec ceux de la clochette. On ferme ensuite le circuit de la pile, en appuyant sur le bouton de la boîte, et l'étincelle, jaillissant entre les fils de platine placés au-dessus du bec, enflamme le gaz.

Dans la lanterne, pour faciliter le remplacement du manchon, qui ne pourrait être fait dans de bonnes conditions par un ouvrier ordinaire placé sur une échelle, on a employé une disposition telle que l'on puisse retirer en bloc l'ensemble du brûleur, du porte-manchon, du porte-verre et du verre, sans avoir à toucher au système d'allumage.

Il fallait aussi empêcher, en outre, l'inflammateur de tomber sur le manchon et de le détruire en cas de rupture du verre. A cet effet, l'inflammateur a été placé sur une cheminée auxiliaire en laiton, dans laquelle s'engage la partie supérieure de la cheminée en verre, et comme l'expérience a démontré qu'il fallait, autant que possible, rapprocher l'inflammateur du manchon, on a réduit au strict nécessaire la longueur de la cheminée auxiliaire.

Cette longueur est déterminée par le mouvement de bas en haut qu'il faut pouvoir imprimer à la partie mobile A du bec (verre, porte-verre, bec et manchon), dans le cas où l'on a à remplacer soit un manchon, soit tout autre accessoire. On a cependant pu la réduire, en télescopant la cheminée qui porte l'inflammateur, c'est-à-dire en la faisant coulisser autour d'une cheminée intérieure de même longueur formant guide et portant un arrêt.

165. Allumage à distance.—En outre des procédés d'allumage électrique basés sur l'utilisation d'une étincelle d'extra-courant ou d'induction, ou sur la résistance de fils de platine minces portés à l'incandescence par le courant électrique, on a réalisé depuis quelques années des dispositifs permettant d'utiliser l'énergie électrique non seulement pour allumer les becs, mais aussi pour ouvrir et fermer les robinets desservant les brûleurs : le problème envisagé ainsi est l'allumage et l'extinction à distance par l'électricité.

De nombreuses combinaisons très ingénieuses ont été conçues dans cet ordre d'idées ; nous citerons notamment les allumeurs automatiques Sœnderoop, Guyenot-Chateau, susceptibles de desservir simultanément un ensemble de brûleurs. Mais, jusqu'à présent, ces mécanismes n'ont pu entrer dans la pratique industrielle, à cause des sujétions inhérentes à la délicatesse de leurs organes.

Allumage par condensation des gaz. — On sait que la mousse de platine, en contact avec l'hydrogène mélangé à l'air, devient incandescente et l'enflamme. Comme le gaz d'éclairage contient près de 50 0/0 d'hydrogène, on a eu l'idée de tenter son allumage dans des conditions analogues. Mais l'expérience a prouvé que le gaz d'éclairage, tout en portant la mousse de platine à l'incandescence, ne s'allume pas et qu'en outre, sous l'influence d'un contact répété avec le gaz, la mousse de platine perd sa faculté d'incandescence.

Pour remédier à ces deux inconvénients, on imagina de mélanger la mousse à un corps poreux, de préférence à de l'écume de mer; on espérait ainsi que la plus grande division et les porosités plus prononcées de la matière, augmentant la surface de contact du gaz avec les particules métalliques, arriveraient, par cela même, à produire une réaction plus active et qu'en outre la faible conductibilité de chaleur de l'écume de mer protégerait les parties intérieures contre la chaleur de la réaction, ou de la flamme ainsi provoquée.

Si les petits globules platinés mettaient, ainsi, peu de temps à être portés à l'incandescence sous l'action d'un courant de gaz, par contre cette incandescence ne parvenait pas encore à enflammer le fluide.

On eut alors l'idée de lier intimement à ces globules un fil de platine très mince. Cette substance possède la propriété d'augmenter de température lorsqu'elle est chauffée vers 300° au contact du gaz et d'être ainsi portée au blanc vif; la température à laquelle se produit ce phénomène est alors suffisante pour provoquer l'allumage du gaz; tel est l'objet du brevet pris, en Angleterre, par M. Ducke.

Ce dispositif, très efficace dans les premiers temps de son emploi, perd à l'usage ses propriétés, par suite de la désagrégation des boulets d'écume platinée sous l'influence de la chaleur et de l'usure du fil fin de platine, rendu très fragile par l'action de la flamme.

C'est d'ailleurs en vue d'éviter l'action destructive de la flamme sur les boulets et le fil de platine que certains perfectionnements ont été apportés au dispositif de principe décrit ci-dessus, notamment dans la construction du « self-allumeur ».

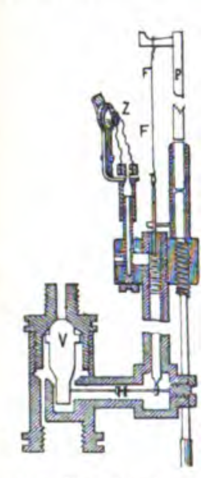


Fig. 179. — Self-allumeur.

Le *self-allumeur* (*fig.* 179) comporte : 1° un petit *boulet* en écume platinée Z; 2° un *tube d'allumage*, desservi par un petit canal vertical, relié, d'une part, à la canalisation du brûleur principal par un canal horizontal, et, d'autre part, au boulet Z par deux fils de platine très fins; 3° une soupape V susceptible de laisser passer le gaz simultanément ou séparément dans le tube d'allumage et dans le brûleur disposé directement au-dessus de la soupape; 4° un fil de platine F suspendu à une potence en porcelaine P et fixé à sa partie inférieure à un levier avec contrepoids de réglage H relié lui-même à la soupape V.

Le fonctionnement du self-allumeur se comprend aisément. A l'ouverture du robinet principal, le gaz venant d'en bas trouve la soupape sur son siège et est obligé de passer autour de H pour arriver au tube d'allumage. Il porte à l'incandescence le boulet Z et les fils de platine l'enflamment. Or le fil F

chauffé par la flamme, se détend un peu; dès lors le levier H est actionné légèrement et la soupape s'abaisse, ce qui permet le passage du gaz dans le brûleur principal, où il s'allume au contact de la flamme du tube d'allumage. La flamme principale chauffe davantage le fil F, qui se détend encore plus, de manière que l'inflexion du levier H amène l'abaissement complet de la soupape, et par suite l'extinction du tube d'allumage.

En éteignant la flamme principale par la fermeture du robinet à gaz, par suite du refroidissement et du raccourcissement du fil F, le levier et la soupape subissent les mouvements inverses qui assurent la fermeture de la conduite du bec principal et l'ouverture de celle du tube d'allumage.

Le mécanisme de self-allumeur est trop délicat pour qu'on puisse songer à appliquer cet appareil à un service courant.

Manchons auto-allumeurs. — Bien que la température de la flamme d'un bec bunsen employé pour l'incandescence d'un manchon Auer n° 2 ne soit que d'environ 1.400 à 1.500°, et que le platine fonde à 1.740°, des expériences ont prouvé que la mousse de platine, sous l'action de la flamme d'un de ces bunsens, subit une modification lente qui amène rapidement la destruction de ses qualités de porosité. On a cherché à substituer à la mousse de platine des mousses d'un métal dont le point de fusion fût plus élevé, notamment le ruthénium (2.300°), l'iridium (2.000°) et le rhodium (1.900°); mais on a reconnu que ces deux premiers métaux donnent des mousses moins actives; quant au rhodium, il a l'inconvénient de s'oxyder partiellement à haute température.

Après de nombreux insuccès, on a obtenu un alliage au point de fusion proche de 2.300° composé en majeure partie de platine, ruthénium, rhodium et osmium (2.750°).

La masse ainsi obtenue réagit très activement; elle ne se désagrège sous l'action de la flamme que très lentement; afin d'augmenter son activité et la rendre stable, on a eu recours à ce corps poreux particulièrement réfractaire et dépourvu de conductibilité de chaleur, qui est le manchon Auer lui-même. Par un procédé particulier, on incorpore

l'alliage métallique dans la substance du manchon servant à l'éclairage, spécialement sur la tête de celui-ci, qui, ainsi préparé et placé sur les becs à incandescence, provoque l'allumage du gaz sans aucune autre action.

Cet ingénieux système a contre lui l'élévation du prix de revient des manchons; mais on peut espérer que les perfectionnements dont est susceptible la préparation de ses éléments lui permettront de se développer.

§ 4. — Appareils de réglage

166. Réglage des brûleurs. — En admettant que la pression dans la conduite d'amenée du gaz à un brûleur soit constante, il peut y avoir intérêt à régler ce brûleur, qui n'a pas été forcément établi pour la pression et le débit donnés. Le réglage du brûleur a pour effet de le ramener aux meilleures conditions de fonctionnement. Malheureusement, le réglage n'est pas facile à obtenir en raison de la complication qu'il occasionne dans l'appareil. On peut agir directement sur la sortie des gaz ou sur l'admission d'air.

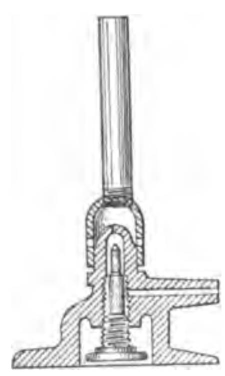


Fig. 180.
Réglage d'un brûleur.

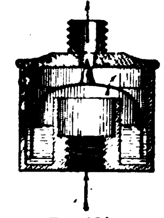
Un moyen bien simple pour faire varier le débit est de placer sur la sortie du gaz un obturateur ou broche régulatrice (*fig.* 180), qui n'est autre qu'une vis qu'on enfonce plus ou moins. Si l'obturateur est perpendiculaire à la veine gazeuse, il a l'inconvénient de faire perdre de la pression, on doit donc le placer dans le sens de l'écoulement du fluide; aussi, très souvent, la vis ou un autre système fait mouvoir une aiguille s'enfonçant plus ou moins dans les orifices alors très réduits des brûleurs. On peut encore faire échapper le gaz par une série d'ouvertures rectangulaires dont on bouche une partie au moyen d'un obturateur, on réduit l'épaisseur de la veine gazeuse sans modifier

sa vitesse. Il existe un grand nombre de dispositifs.

En ce qui concerne l'admission d'air, le réglage n'a guère porté que sur les brûleurs à incandescence. On a vu qu'au moyen d'une bague concentrique au tube de mélange du bunsen, on pouvait faire varier la dimension des orifices d'introduction d'air. C'est en somme le dispositif adopté pour tous les brûleurs à incandescence. On peut encore adopter la variante indiquée sur la figure 180; il en existe d'autres, mais sans grand intérêt. Dans quelques-unes, le même appareil fait mouvoir l'appareil de réglage du gaz et de l'air, ce qui complique le système.

167. Rhéomètres. — Malgré l'emploi de régulateurs d'émission aux usines, la pression dans les conduites subit des fluctuations, qui ont pour effet de modifier le régime de fonctionnement des brûleurs.

Pour soustraire ceux-ci à l'influence des variations de pression, on a combiné des appareils de réglage que l'on dispose, soit au-dessous de chaque brûleur, soit au départ des conduits desservant un groupe de brûleurs. Les premiers, ou rhéomètres, ont pour office de maintenir constant le débit des brûleurs, quelle que soit la pression; les seconds, ou régulateurs, maintiennent au contraire constante la pression quel que soit le débit. Le principe de ces appareils est sensiblement le même. Les rhéomètres se divisent en rhéomètres humides et en rhéomètres secs.


Fig. 181. Rhéomètre humide.

Rhéomètres humides. — Le rhéomètre humide se compose (*fig.* 181) d'une cuvette en cuivre, d'une cloche en maillechort percée d'un orifice et plongeant dans un bain incongelable de glycérine ou d'huile d'amandes douces, et d'un couvercle portant le conduit de sortie du gaz, dans lequel s'engage une pointe conique fixée sur la cloche.

Le gaz pénétrant dans le rhéomètre soulève la cloche, passe par l'orifice et se rend par l'espace annulaire au brûleur. Dès lors, si H désigne la pression à l'arrivée; h, celle à

la sortie ; S, la section de la cloche, et p, son poids, la condition d'équilibre sera :

$$(H - h) S = p = \text{constante} ;$$

en donnant à p et à S des valeurs convenables, on pourra faire varier l'orifice circulaire, pour ne laisser passer qu'un certain volume de gaz. Il va sans dire que le réglage ainsi réalisé ne convient que pour un gaz déterminé.

Ces rhéomètres constituent d'excellents appareils de réglage ; mais il faut renouveler de temps à autre le liquide ; en outre, lorsqu'on souffle dans les tuyaux de distribution pour chasser les eaux de condensation, il faut avoir soin de retirer les rhéomètres, si on ne veut pas les dérégler.

Rhéomètres secs. — Le principe est le même. On a un cylindre en cuivre dans lequel se meut un disque mince, en aluminium, surmonté d'un tube en même métal, coulissant sur une partie fixe, qui sert de guide au disque (*fig.* 182).

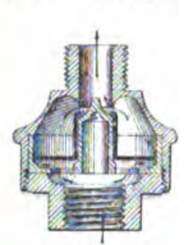


Fig. 182. Rhéomètre sec.

Le gaz arrivant sous le disque le soulève, traverse le vide annulaire existant entre la périphérie du disque et la paroi de la cuvette et vient s'engager dans la cheminée du rhéomètre, sur laquelle est fixé le brûleur. Le gaz s'écoulant sous l'influence d'une pression constante indépendante de la pression d'entrée, la vitesse d'écoulement et, par suite, son débit, demeurent constants.

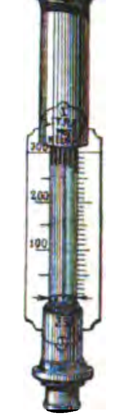


Fig. 183. Compteur portatif.

On peut faire la chambre du rhéomètre en verre et sur une échelle graduée, indiquer (*fig.* 183) pour une position du disque, la pression et le débit correspondants. On obtient ainsi une sorte de compteur portatif, dont les indications, quoique peu précises, sont suffisantes pour certaines vérifications rapides du débit des brûleurs.

Pour les appareils d'éclairage intérieur, on doit pouvoir faire varier le débit du rhéomètre suivant l'intensité que l'on veut donner au brûleur. A cet effet, plusieurs dispositifs ont été adoptés par les fabricants. Les uns ont ajusté le mieux possible le disque de la soupape, de telle sorte que le volume du gaz qui peut passer entre le bord du disque et la paroi de la cuvette soit insuffisant pour le débit demandé. L'appoint supplémentaire est obtenu en laissant passer une nouvelle quantité de gaz par un ou plusieurs orifices percés dans le disque lui-même, ces orifices pouvant d'ailleurs être obturés à volonté par une petite lame métallique qu'on peut placer dessus. D'autres fabricants ont laissé le plus grand possible l'espace annulaire entourant le disque et obtiennent le débit désiré en élevant ou abaissant, à l'aide d'un pas de vis, la cheminée comportant les fenêtres d'échappement.

Dans le rhéomètre sec de M. Bablon (*fig.* 184), le tube surmontant le disque est ouvert à sa partie inférieure, le gaz s'écoule entre le disque et le corps cylindrique et entre le tube surmontant le disque et une cloison fixe; en outre, il en passe une certaine quantité dans l'intérieur du tube, avec cette particularité qu'on peut faire varier cette dernière partie en enfonçant dans le bas une petite capsule munie de deux fenêtres. L'écoulement du gaz par ces fenêtres sera d'autant plus faible que la capsule aura été plus enfoncée dans le tube.

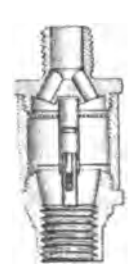


Fig. 184. Rhéomètre Bablon.

La qualité d'un rhéomètre sec dépend du fini de sa fabrication; les frottements doivent être réduits au minimum. Il doit être établi pour que les poussières du dehors ne puissent pénétrer à l'intérieur. C'est ainsi que, dans le rhéomètre Bablon, celles qui pourraient s'introduire pendant la pose viennent tomber sur la cloison fixe au-dessus de la soupape dont elles ne peuvent gêner les mouvements.

168. Pose des rhéomètres. — On les place généralement au-dessous des brûleurs. Dans ce cas, il faut tenir compte de la nature de ce dernier ; s'il est en métal, il provoque

l'échauffement du régulateur, la dilatation du gaz, et par suite une diminution du débit pouvant atteindre une vingtaine de litres à l'heure.

Pour les foyers dans lesquels l'alimentation se fait de haut en bas, on a dû recourir à des appareils spéciaux. On peut, par exemple, faire rebrousser le gaz, de manière à l'amener de bas en haut sur une partie de la conduite. On emploie



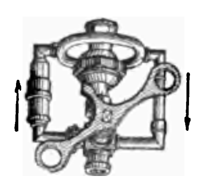


Fig. 185. — Pose des rhéomètres sur les conduites descendantes.

également la lyre carrée, basée sur ce principe : une boule de rodage permet à l'appareil d'osciller dans tous les sens, le gaz suit le chemin indiqué par les flèches (*fig.* 185). Il existe également des rhéomètres permettant l'entrée du gaz de haut en bas ; mais, dans ce cas, il faut s'attacher à ce que la résistance de la tige de suspension ne soit pas diminuée.

Ainsi qu'il a été signalé au numéro 162, il faut tenir compte, toutes les fois qu'on veut utiliser les rhéomètres, de la nature des brûleurs auxquels ils doivent être associés : la perte de charge créée par l'intercalation du rhéomètre ayant une influence très marquée sur les conditions de fonctionnement des brûleurs, notamment lorsqu'il s'agit de foyers à incandescence actionnés par des brûleurs genre bunsen.

CHAPITRE X

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE PAR ARC VOLTAIQUE

---

§ 1. — Propriétés de l'arc voltaïque

169. Caractères généraux. — L'étincelle jaillissant d'une manière continue entre deux conducteurs porte le nom plus spécial d'*arc voltaïque*, et les conducteurs celui d'*électrodes*. La lumière fournie par cet arc dépend de la nature du courant, de celle des électrodes, et du milieu dans lequel elle se développe.

C'est ainsi que les électrodes en zinc, en argent ou en platine donnent un arc de couleur bleue, verte ou rouge; avec des électrodes en charbon, en forme de baguette, qui sont celles qu'on emploie couramment, la lumière est violacée. Le Dr Marks a fait des essais en vase clos avec des charbons imprégnés de sels minéraux, comme du carbonate de soude, de magnésie, du chlorhydrate d'ammoniaque; il a constaté que l'arc se forme à un voltage plus bas ou, ce qui revient au même, que l'arc obtenu est plus long, la substance minérale rendant le milieu plus conducteur; une partie de la matière incombustible se volatilise le plus souvent, à moins qu'elle ne se dépose. La forme des électrodes a également une certaine importance : entre deux pointes, l'arc est ovoïde; entre une pointe et une plaque, il est conique.

Quant au milieu, il intervient par la propriété qu'il a de se combiner avec les électrodes portées à haute température, ou de faciliter, par sa plus ou moins grande conductibilité, le passage de l'arc, Avec des électrodes en charbon dans

l'air, il se forme de l'acide carbonique, d'où combustion rapide des électrodes; si le gaz acide ne peut pas se dégager, il empêche la combustion et rend l'usure des crayons beaucoup plus lente. L'hydrogène, l'iode avec les électrodes en charbon affaiblissent la lumière tout en rendant l'arc instable; le chlore produit un effet tout différent (Marks). Arons a trouvé qu'avec les électrodes métalliques dans l'azote, l'arc nécessitait une tension moindre que dans l'air, l'étain fond immédiatement et l'argent donne un arc de faible durée; il se forme des azotures; la tension de l'azote, pour donner un arc un peu stable, doit être de 1 millimètre au moins. Dans l'hydrogène, quelques métaux donnent un arc plus régulier, il y a combinaison du gaz avec les électrodes; mais les alliages ainsi formés sont difficiles à définir. En faisant jaillir l'étincelle dans de la vapeur de mercure raréfiée à 1 millimètre, on obtient une lampe d'un pouvoir éclairant élevé.



Fig. 186. — Arc voltaïque.

La nature du courant joue un grand rôle sur la distribution de la lumière obtenue.

Avec les *courants continus*, le charbon positif (*fig.* 186) se creuse en forme de cratère; le négatif, au contraire, se taille en pointe. Il y a déplacement de la matière du positif au négatif, ce qui explique pourquoi ce dernier s'use deux fois moins vite. Le transport de la matière est facile à vérifier : au microscope on voit des globules opaques incandescents se précipiter sur le négatif. Ces globules proviennent de substances réfractaires contenues dans les charbons. La lumière fournie par un arc continu comporte quatre parties (Mme Ayrton) : 1° le cratère ; 2° la pointe blanche du négatif; 3° l'arc proprement dit; 4° les charbons incandescents. Le cratère produit la majeure partie de la lumière, 85 0/0 environ; par suite de sa haute température et de sa grande surface, son éclat, voisin de 200 bougies, reste sensiblement le même, quel que soit le courant ou la tension, du fait de la constance de la température (Violle); la surface du cratère

augmente avec l'intensité du courant et atteint son maximum lorsque l'arc se met à siffler.

La pointe blanche ainsi que l'incandescence des crayons ne dépendent que de l'intensité du courant; la quantité de lumière fournie par ces deux parties ne dépasse guère 5 0/0. Quant à l'arc, véritable mélange de gaz, de vapeurs et de particules de carbone solide, évaporées régulièrement, il donne une teinte bleue qui, combinée avec celle plus rouge des crayons, donne une lumière violacée caractéristique. La présence des particules de carbone vaporisé a été démontrée par Herzfeld, qui a attiré ces particules hors de l'arc. Les gaz ne sont autres que ceux provenant de la combinaison de l'air et du carbone. Du reste, lorsque l'air ou mieux l'oxygène arrive directement jusqu'au cratère, l'arc fait entendre un sifflement : le cratère prend alors une couleur verdâtre, comme la partie extérieure de l'arc en contact avec l'air atmosphérique (Mme Ayrton).

Avec les *courants alternatifs*, le phénomène est un peu différent. A chaque période, l'arc s'éteint et se rallume, comme on l'a constaté expérimentalement. Pour que ce papillonnement ne soit pas sensible à l'œil, il faut que la fréquence à la seconde soit au moins de 40. L'étude de cet arc a été faite d'abord par M. Joubert, puis par M. Blondel; ils sont arrivés à déterminer la durée relative de l'extinction et des allumages, et les conditions de stabilité. Les arcs longs et peu intenses ont des extinctions de longue durée. Comme la stabilité dépend de cette durée, car non seulement il y a suppression de l'arc, mais encore refroidissement des charbons, il y a intérêt à employer des arcs courts et intenses; de là l'obligation d'avoir des crayons proportionnés à l'intensité du courant, dans des limites plus étroites que pour les courants continus. Il y a également transport de la matière d'un crayon à l'autre, et il se forme un petit cratère sur chacun d'eux ; mais, comme le sens change à chaque période, l'usure est la même pour les deux. Les changements périodiques du courant produisent une variation analogue de l'arc; il en résulte de véritables ondes sonores, comme une sorte de ronflement qui caractérise l'arc alternatif.

Lorsque les arcs précédents sont enfermés dans un *vase*

clos, l'usure du crayon se fait d'une manière différente : le positif est à peine creusé, et le négatif, au lieu d'être en pointe, se termine par un champignon arrondi. L'arc tourne autour des charbons ; ce qui est un inconvénient auquel on remédie en augmentant l'intensité du courant.

170. Force électromotrice. — Écartement des charbons. — Pour franchir l'espace libre entre les deux électrodes, il est nécessaire que le courant ait une force électromotrice suffisante. Tout se passe comme si le circuit avait sa section réduite en ce point, opposant ainsi une résistance plus grande au passage du courant. L'énergie ainsi absorbée se transforme en chaleur, puis en lumière. Cette consommation P se représente par une fonction linéaire, par rapport à l'écart l, pour chaque diamètre de crayon :

$$P = (a + bl)\,I + c + dl,$$

d'où l'on déduit la formule hyperbolique :

$$E = a + bl + \frac{c + dl}{I};$$

a, b, c, d sont des constantes variant avec le diamètre du crayon. Dans le cas de charbons de 9 à 11 millimètres de diamètre, on a :

$$a = 38{,}88 \qquad b = 2{,}075 \qquad c = 11{,}66 \qquad d = 3{,}1$$

l en millimètres, I en ampères et E en volts

Les valeurs de E sont différentes pour chaque valeur de I, et vont en baissant (*fig.* 187) jusqu'au moment où l'arc se met à siffler ; le voltage descend alors brusquement, pour rester constant lorsque l'arc redevient stable. Le courant maximum que peut supporter un arc silencieux croît avec l'écart. L'arc électrique ne suit pas exactement la loi de Ohm [1], car

[1] La chute du potentiel E entre deux points d'un circuit, entre lesquels ne se trouve aucun générateur ni récepteur, est égale au produit de l'intensité du courant I par la résistance R qui le sépare : $E = RI$.

une augmentation de l'intensité amène un accroissement de section de l'arc, et par suite une réduction de la résistance;

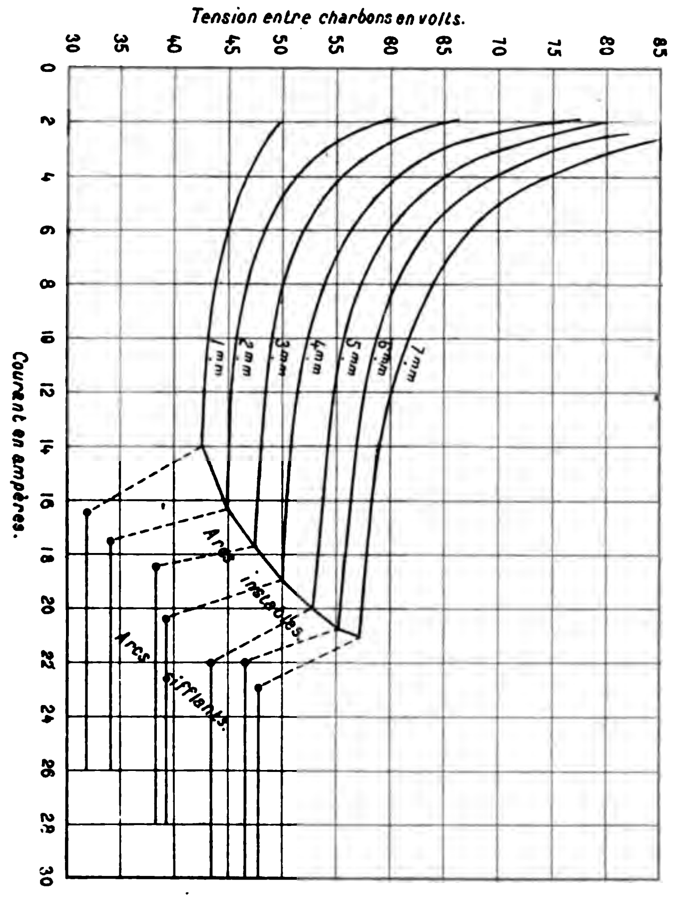


Fig. 187. — Force électromotrice de l'arc.

la force électromotrice, pour une même longueur d'arc, est d'autant moins élevée que l'intensité est considérable.

Avec les courants continus, au point de vue du voltage, il

y a deux sortes d'arcs : les arcs ordinaires, dont le voltage, de 38 à 40 volts, peut être élevé à 45 et 50 volts pour les courants de 10 à 200 ampères, sans que la lumière soit modifiée, et les arcs à bas voltage, où la tension est comprise entre 34 et 38 volts. Ces différences de voltage proviennent du mode de réglage et surtout de la nature des crayons, qui permettent de réduire plus ou moins la résistance de l'arc.

L'arc alternatif a une résistance moindre et nécessite, par suite, une force électromotrice plus faible ; on est descendu jusqu'à 25 volts (Compagnie Hélios), ce qui a permis de monter 4 arcs en tension sur un circuit à 110 volts, avec bobines de self-induction ; mais le voltage ordinaire est de 30 volts.

Avec les arcs en vase clos, si le voltage n'est que de 40 à 45 volts, il se forme sur le globe qui entoure l'arc un dépôt de carbone et un champignon sur le négatif ; en effet, une partie du carbone volatilisé, ne pouvant, par suite du peu de longueur de l'arc, être mise en contact avec l'air, se dépose ; par contre, si on porte le voltage à 75 et 80 volts, l'arc est plus long et toutes les molécules de carbone ont le moyen d'être attaqués par le peu d'oxygène de l'air : le dépôt sur le globe et le champignon du négatif disparaissent.

L'écartement des charbons varie dans le même sens que la force électromotrice ; mais les valeurs trop grandes de 10 à 16 millimètres donnent un arc instable inutilisable. Mme Ayrton a déterminé l'intensité lumineuse en fonction de l'écartement des charbons pour un courant constant. La quantité de lumière reçue passe par un maximum, pour descendre ensuite, et remonter finalement jusqu'à une certaine valeur, où elle devient indépendante de la longueur de l'arc. Le premier maximum a lieu avec des arcs de 1 millimètre, dits arcs courts, par opposition aux autres. Ce maximum est la conséquence de la forme effilée du crayon négatif, qui dégage la lumière provenant du cratère ; si l'écartement augmente, le négatif s'épointe vers 3 millimètres, la lumière diminue, en outre, par suite de la densité plus faible du courant dans l'arc, et il faut faire croître de beaucoup ce dernier pour que la lumière recommence à croître à nouveau. Le maximum obtenu avec l'arc court n'a

lieu que si l'on adopte des courants très intenses, sans toutefois atteindre l'arc sifflant, c'est-à-dire une densité de courant qui provoque la formation d'un cratère sur tout le diamètre du positif, au point de favoriser l'introduction de l'air.

Les arcs courts ont certains avantages : la dépense d'énergie est moins élevée. En effet, l'énergie absorbée se divise en deux parties : l'une qui va au cratère et qui est très faible, 3 watts environ par allongement de 1 millimètre d'arc, et l'autre pour l'arc lui-même, soit 27 watts. Comme ce dernier ne donne que 10 0/0 de la lumière totale, l'augmentation est mal utilisée. Un autre avantage est que l'usure du négatif est diminuée du fait qu'il se trouve mieux protégé de l'air ambiant et qu'il reçoit toute la matière provenant du positif.

Avec l'arc en vase clos, l'écartement du charbon est de 8 à 10 millimètres, soit cinq ou six fois celui de l'arc à l'air libre, ce qui permet de dégager la lumière du positif, si le courant est continu.

Pour la formation de l'arc, il est indispensable que les crayons soient en contact, la résistance de l'air étant trop grande pour permettre le passage direct du courant. Les charbons sont ensuite écartés et l'intervalle se trouve parcouru par les particules de charbon qui continuent le circuit. Cependant, quand le milieu a atteint une certaine température, l'arc peut jaillir à 3 ou 4 millimètres d'intervalle. C'est ce qui se passe avec les courants alternatifs, dans lesquels l'arc est interrompu à chaque phase et où le rallumage, en vase clos, se fait à 12 et 14 millimètres d'intervalle.

171. Température. — La température de l'arc électrique est la plus élevée qu'on soit arrivé à produire. On évalue à 3.000° la température du four électrique ; cette température n'est pas uniforme : elle est de 3.500° au cratère du positif ; puis elle va en diminuant jusqu'au négatif, où elle n'est plus que de 2.700°. Cette inégalité de température concorde avec la différence de teinte des deux crayons, le positif étant au rouge blanc, et le négatif au rouge sombre ; du reste, un petit crayon en carbone peut être ramolli près du cratère,

ce qu'il est impossible de faire un peu plus loin. Dans une enceinte fermée, ces températures restent constantes, ce qui explique que l'état du cratère soit uniforme. Avec les courants alternatifs, la température doit être moins élevée, par suite des extinctions successives qui se produisent au changement de période, et pendant lesquelles les crayons se refroidissent forcément. La température moyenne et par conséquent l'éclat de l'arc croissent avec l'intensité efficace et la fréquence du courant, qui a pour effet de diminuer les extinctions; mais, quelles que soient leurs valeurs, le rendement de l'arc alterné est moindre que celui de l'arc continu.

172. Mesures photométriques. — En mesurant l'intensité lumineuse de l'arc suivant différentes directions, on a trouvé qu'elle était loin d'être uniforme. Avec les courants continus, elle atteint son maximum entre 40 et 45° (*fig.* 188), ce qui s'explique aisément par suite de la présence du négatif et de la forme du cratère; la valeur suivant l'horizontale est très faible.

L'intensité maximum en carcels peut s'évaluer en fonction de l'intensité i du courant en ampères (A. Palaz). On a :

$$I = 7,93 + 19,666i + 0,3815i^2,$$

ou, en simplifiant :

$$I = 20i + 0,4i^2.$$

Pour les arcs alternatifs, la répartition lumineuse n'est pas non plus uniforme; on a un maximum entre 20 et 40° au-dessus et au-dessous de l'horizontale, sur laquelle on a la valeur minimum; la lumière se répartit également dans les deux hémisphères. Le graphique *b* (*fig.* 188) représente le résultat de 4 essais faits avec un arc de 5 millimètres correspondant à des intensités successives de 7 ampères, $7^{amp},5$, $9^{amp},5$ et $10^{amp},5$ sur 30 volts environ. La répartition de la lumière est moins avantageuse qu'avec les courants continus.

Quant à l'arc en vase clos, dont les mesures sont prises à

travers un globe, la répartition de lumière est plus uniforme : de 20 à 60°, l'intensité change peu ; c'est entre 20 et 15° qu'a lieu le maximum, ce qui peut être, suivant les surfaces à éclairer, un avantage ou un inconvénient. Les arcs alter-

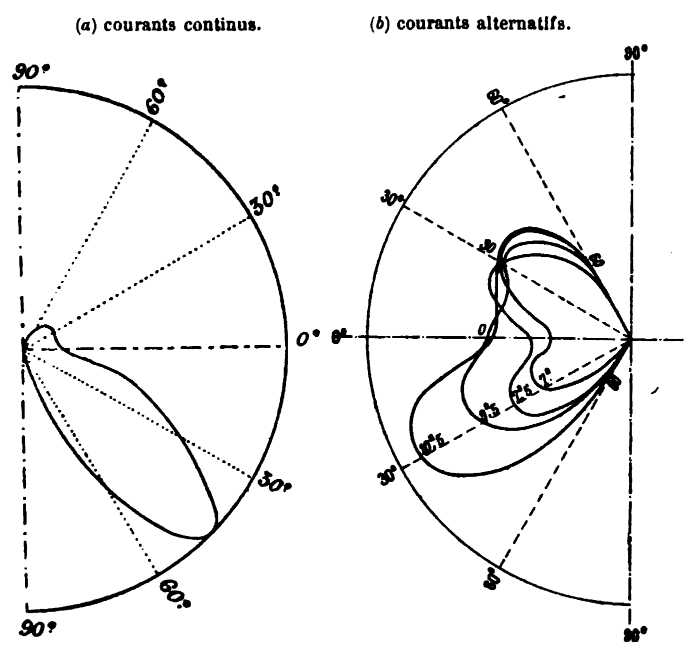


Fig. 188. — Intensité lumineuse de l'arc voltaïque.

natifs en vase clos donnent une répartition analogue à celle des arcs à air libre, mais avec une uniformité un peu plus grande due à l'emploi du globe.

D'un plan vertical à l'autre, les intensités lumineuses devraient être les mêmes ; il n'en est rien (Wedding), par suite du peu d'homogénéité des crayons ou de leur position défectueuse, car il est difficile d'avoir un centrage parfait. On peut même exagérer ce défaut pour en tirer profit et améliorer la distribution de la lumière : c'est ainsi qu'en inclinant les charbons l'un par rapport à l'autre, on arrive à envoyer la

lumière dans une direction déterminée et même à obtenir des éclairements supérieurs.

173. Crayons. — Ils sont généralement obtenus par filage sous pression d'une pâte formée d'un mélange de charbon de cornue ou de coke de pétrole et de noir de fumée aggloméré par du goudron. Le plus employé est le graphite, ou charbon des cornues; il faut le débarrasser des impuretés qu'il renferme. On enlève, au couteau, d'un côté le coke resté adhérent, de l'autre les silicates provenant de la cornue; la séparation est assez difficile à cause de la dureté des matières. Le charbon utilisable est d'abord réduit en morceaux de 5 à 10 centimètres au moyen d'une machine à deux mâchoires, puis, sous des meules verticales, en poussière fine qu'on tamise avec soin. Dans quelques usines, les morceaux de charbon sont passés au four à 1.500°, de manière à enlever les substances volatiles. Pendant longtemps, on a lavé les poudres dans des réactifs; mais le procédé, trop coûteux, a été abandonné. Le fer introduit au cours des différentes manipulations est enlevé au moyen de deux électro-aimants.

La poudre, ainsi purifiée, est mélangée à du noir de fumée aggloméré par du goudron pour obtenir une pâte facile à mouler; quelquefois on l'additionne d'acide borique. Il faut 20 à 30 0/0 de goudron pour avoir une masse suffisamment plastique; du reste, sa composition varie suivant qu'on veut obtenir des crayons homogènes ou à âme et qu'il s'agit de charbon pour courants continus ou alternatifs. La trituration de la pâte se fait au moyen de malaxeurs spéciaux Werner ou Warchulowski; le goudron est ajouté chaud. A la sortie du malaxeur, la pâte est broyée à nouveau sous des meules analogues jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment consistante. On la pilonne alors, en la comprimant à 150 kilogrammes par centimètre carré. Le crayon ainsi obtenu est débité en morceaux de longueur voulue. Suivant les dimensions et la forme de la filière, on a des crayons de diamètres différents, compacts ou percés d'un trou ou âme, qu'on remplit d'une pâte plus tendre obtenue par l'addition de 5 à 10 0/0 de silicates et de borates. C'est grâce à l'âme qu'on a pu abaisser le point de sifflement de l'arc voltaïque au-dessous de 35 volts,

tout en conservant un champ de variations assez étendu.

Les crayons ainsi préparés sont ensuite cuits dans des fours chauffés au gaz d'air provenant d'un gazogène. C'est un four continu à 24 chambres dans lequel la combustion avance d'une chambre chaque fois; c'est-à-dire que, pendant qu'on défourne la dernière chambre, la première est remplie. La cuisson complète dure vingt-quatre jours à une température de 1.400 à 1.500°. Le four étant disposé en rectangle, deux carneaux, partant du gazogène et longeant les grands côtés du four, communiquent successivement avec chaque chambre par des conduits secondaires munis de vannes; chaque chambre est reliée en outre avec la cheminée d'appel. Le chauffage est méthodique, c'est-à-dire que l'air chauffé par les produits de la chambre à défourner arrive dans la suivante pour finir de brûler le gaz d'air, et ainsi de suite jusqu'à la première chambre. Les crayons sont enfermés dans des creusets en argile et charbon remplis de poussier.

Dans l'ancien procédé Carré, la cuisson se faisait en plusieurs fois, et, à chaque reprise, on avait soin de plonger les crayons dans une solution gommée. Ces additions successives de carbone, constituant le nourrissage, donnaient des crayons d'excellente qualité, mais d'un prix de revient trop élevé. On ne fait guère maintenant une seconde cuisson de douze heures que pour le durcissement de la pâte tendre de l'âme du crayon ajoutée après la cuisson de celui-ci. Quelques crayons sont recouverts de cuivre galvanique, ce qui augmente la conductibilité et diminue l'usure, mais les avantages obtenus ne compensent pas l'augmentation de prix. On revient actuellement à une ancienne pratique qui consiste à ajouter au charbon des composés minéraux ayant pour but de modifier la lumière de l'arc; la métallisation augmente le rendement lumineux, qui est proportionnel au degré de métallisation, mais on ne doit pas dépasser 15 0/0. Ordinairement les sels employés sont ceux de calcium (jaune), strontium (rouge) et baryum (vert); c'est le calcium qui donne les meilleurs crayons. Toutefois, les résultats obtenus ne sont pas concluants, sauf pour quelques lampes spéciales, comme on le verra par la suite.

Propriétés. — La densité apparente des charbons ainsi obtenus varie de 1,30 à 1,35, et la densité réelle de 1,50 à 1,85. La résistance spécifique doit être aussi faible que possible; de 0,0039 ohm-centimètre qu'avaient les crayons Carré, elle est montée à 0,005 et 0,010 avec les charbons actuels, soit, en moyenne, 0,008 à 0,0095. La température diminue cette résistance, le coefficient de réduction est de 1/2408 à 1/1912 par degré centigrade. Les charbons au noir de fumée ou à base de pétrole sont plus résistants, leur usure est moindre; ils conviennent pour les arcs longs; mais, pour les basses tensions, il faut des charbons plus tendres et plus conducteurs. C'est dans ce but qu'on les munit d'une mèche minéralisée ; grâce à la volatilisation du goudron et des autres substances qui émettent des vapeurs très conductrices, l'arc est plus stable ; de plus, le cratère a une forme plus régulière ; les crayons à mèche sont aussi utilisés avec les courants alternatifs. Les crayons doivent contenir de 98 à 99 0/0 de carbone pur; le reste est formé par de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer.

Dimensions. — Le rendement lumineux des crayons est en raison inverse du diamètre, ce qui est facile à expliquer par l'augmentation de la température; mais, en réduisant par trop la section, on diminue la durée; de plus, si la densité du courant est trop élevée, l'arc se met à siffler. On se trouve donc amené à prendre des diamètres un peu plus forts. Le diamètre des crayons varie avec la nature du courant, la longueur de l'arc; ceux pour courants alternatifs sont plus faibles que pour les courants continus, et dans ceux-ci, pour les arcs à basse tension, le diamètre est un peu plus faible. Il faudrait tenir compte en outre de la composition et du mode de fabrication des crayons; on n'a guère d'autres données que celles de l'expérience. Pendant longtemps, pour les courants continus, le négatif a eu, suivant l'intensité, les diamètres suivants :

Courants de	3 à 6 a.	6 à 11 m/m
—	6 à 12.	11 à 13
—	12 à 20.	13 à 16
—	20 à 25.	16 à 20
—	25 et au-dessus.	20

ARCS A BAS VOLTAGE				ARCS A VOLTAGE ÉLEVÉ				COURANTS ALTERNATIFS		
INT.	VOLTAGE	CHARBON + à mèche	CHARBON — homogène	INT.	VOLTAGE	CHARBON + à mèche	CHARBON — homogène	INT.	VOLTAGE	CHARBON à mèche
				2^{a}	$36\text{-}40^{v}$	9^{mm}	6^{mm}	6^{a}	27^{v}	9^{mm}
				3	38-41	11,3	7	8	28	10
				4	39-42	13	8	10	28	11
6^{a}	$35\text{-}38^{v}$	13^{mm}	8^{mm}	6	40-43	15	9	12	28	12
8	35-38	15	9	8	41-44	17	10	14	29	14
10	35-38	17	11	10	42-45	18	11	16	29	14
12	35-38	18	12	12	43-46	22	15	18	29	16
				16	44-47	24	16	20	30	16
								25	30	18
								30	30	20

Le positif, dont l'usure est double, avait une longueur ou une section calculée en conséquence. Ces chiffres ne diffèrent que fort peu du tableau précédent.

M. Blondel, pour les courants alternatifs, préconise les crayons homogènes dans le bas. Les crayons sont établis pour une durée de quinze à dix-huit heures; l'usure moyenne étant de 25 à 40 millimètres à l'heure, il est facile d'en déduire la longueur, qui est généralement comprise entre 200 et 325 millimètres. L'usure est moins rapide pour les arcs à basse tension, mais elle augmente de 10 à 20 0/0 pour les courants alternatifs. Avec les arcs à bas voltage, les crayons doivent être très purs et très tendres.

Pour prolonger la durée d'éclairage, on a imaginé des lampes à doubles crayons. Les charbons des lampes à arc en vase clos ont 11 à 12 millimètres de diamètre; l'usure est de $1^{mm},5$ pour le positif et 2 millimètres pour le négatif, soit 10 fois moindre que celle à air libre. Après usure du positif, on met le négatif à sa place avec un nouveau négatif; la durée est de cent cinquante à deux cents heures.

174. Groupement des arcs. — *Montage en dérivation.* — Toute augmentation de courant amenant un accroissement de l'arc et, par suite, une diminution de résistance, il est nécessaire, pour contre-balancer cet effet et pour donner plus de stabilité à la lumière, de monter, sur le circuit même de l'arc, une résistance qui fait varier le potentiel aux bornes en sens inverse de l'intensité du courant. Cette résistance auxiliaire a, en outre, l'avantage de réduire l'intensité du courant si les charbons viennent en contact. La valeur de cette résistance est assez variable. Dans le début, où on n'avait qu'un arc par circuit, le voltage aux bornes du circuit était 80 volts; or l'on ne consommait que 40 à 50 volts, la différence, soit 30 à 40 volts, était absorbée par la résistance de réglage et le circuit. On a amélioré de beaucoup le rendement en montant les arcs deux par deux sur le même circuit; chacun d'eux absorbe 1/3 du voltage total de 110 volts, le dernier tiers est pris par le rhéostat de réglage.

On s'est efforcé de réduire encore l'importance de cette résistance de stabilité; on a pu, par un mode de réglage de

l'arc, arriver à élever son voltage à 40 à 45 volts et diminuer ainsi l'importance du rhéostat. Mais, même avec cette amélioration, l'utilisation est encore assez faible, et on a préféré réduire le voltage de l'arc à 35 volts, sauf à avoir 3 lampes sur un circuit de 110 à 115 volts. On a alors comme voltage minimum 34 volts pour l'arc lui-même et quelques volts (10 0/0 ou 3,5 à 4 volts) pour son réglage, soit un total de 37 volts. Avec les courants alternatifs, on est arrivé exceptionnellement à avoir 4 arcs de 28 volts sur un même circuit. Il est vrai que, pour ce genre de courant, la régularisation peut s'obtenir avec des bobines de self-induction qui n'absorbent pas de courant comme les résistances. C'est ce qui montre qu'on puisse avoir des arcs isolés sur 40 volts, par 2 sur 80, par 3 sur 110 et par 6 sur 220; on recommande, toutefois, dans le cas de montage en dérivation, de ne pas dépasser ce voltage de 220.

Avec les arcs en vase clos, pour obtenir une bonne lumière, le voltage doit être de 80 à 85 volts, ce qui explique qu'on ne puisse en monter qu'un seul sur les circuits de 110 volts; on peut majorer le voltage et avoir deux arcs sur un circuit de 200 à 220; mais le rendement est encore très mauvais; il est vrai qu'il y a d'autres avantages, notamment celui d'une diminution d'entretien.

Montage en série. — Au lieu d'avoir les lampes isolées ou en petit nombre, deux à trois sur des circuits différents, on peut les monter toutes sur le même circuit; l'installation est beaucoup plus simple et l'utilisation meilleure. Les lampes n'ont plus besoin d'une résistance de stabilité. Seulement le montage en série présente aussi des inconvénients, entre autres la solidarité des appareils entre eux. En outre, avec les courants continus, tandis que, pour le montage en dérivation, toutes les dynamos à potentiel constant donnent un courant quelconque sans régulateur spécial, il n'y a guère qu'une dynamo à courant constant qui n'exige pas de régulateur pour la distribution en série. La plus forte installation de ce genre atteint 2.400 volts avec 9^a,6.

Dans les courants alternatifs, l'inconvénient n'est pas le même, et il n'existe guère que celui inhérent à chaque dis-

tribution à voltage élevé : difficulté de maintenir l'isolement et danger du système, qui est cependant assez répandu.

175. Régulateurs. — Bougies électriques. — Par suite de l'usure des crayons, il est nécessaire, pour empêcher l'extinction de l'arc, de les rapprocher progressivement; de plus, pour que la lumière soit constante, il faut que le courant et, par suite, la force électromotrice qui lui donne naissance le soient également. Or ces deux quantités sont très variables, on est donc amené à avoir un mécanisme spécial automatique désigné sous le nom de *régulateur;* pour obtenir cette constance, c'est le courant lui-même qui fait mouvoir ce mécanisme et par suite donne à la lumière sa fixité. Il existe un nombre considérable de régulateurs; mais tous satisfont à deux conditions indispensables.

D'abord, à l'allumage, les crayons en contact doivent s'écarter à une distance convenable, fonction de l'intensité, pour obtenir l'arc. En second lieu, au fur et à mesure de l'usure, les crayons doivent se rapprocher de manière à conserver à l'arc sa longueur normale ; s'il se rompt, le rapprochement du crayon doit être instantané pour rétablir le contact.

Pour réaliser ces deux conditions, un régulateur doit contenir les organes produisant :

1° La force nécessaire pour amener les crayons en contact. Le plus souvent, cet effort moteur est obtenu par le poids du charbon lui-même et de son support ; parfois cependant, on a recours à de petits électro-aimants ou à des ressorts ;

2° La séparation des crayons lorsque le courant passe ; ce mécanisme se réduit généralement à un électro traversé par un courant qui attire un noyau ou une armature fixée à l'un des porte-charbons ;

3° Le rappel de l'usure des crayons ; cette partie du mécanisme se confond avec les précédents, parfois il est distinct.

Le mouvement de ces organes doit se faire sans secousse ; aussi, le plus souvent, sont-ils adoucis par des amortisseurs ou freins.

Les régulateurs peuvent être établis de façon à maintenir constante soit l'intensité du courant qui les traverse, soit la

force électromotrice aux bornes, ou bien encore une fonction de ces deux quantités : la résistance.

De là trois classes de lampes à arc :

1° Les régulateurs en série ou à intensité constante ;

2° Les régulateurs en dérivation ou à potentiel constant ;

3° Les régulateurs différentiels ou à résistance constante.

Il convient d'ajouter que beaucoup de régulateurs, par une légère modification, peuvent être construits pour l'un des trois systèmes. De même les régulateurs sont un peu différents suivant qu'il s'agit de courants continus ou alternatifs ; enfin il y a des régulateurs pour arc en vase clos.

Au lieu de disposer les crayons dans le prolongement l'un de l'autre, on peut se contenter de les placer à côté en les séparant simplement par une substance qui fond au fur et à mesure de leur usure. L'intervalle pour le passage du courant reste constant, et il n'est plus nécessaire de toucher aux crayons. On donne à ce système le nom de *bougie électrique*.

§ 2. — Régulateurs en série ou a intensité constante

176. Principe. — L'électro qui doit produire l'écartement des crayons est parcouru par le courant total qui alimente l'arc. Le schéma 189 montre le principe d'un régulateur dans lequel le charbon inférieur est supposé fixe.

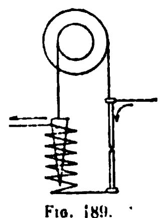


Fig. 189. Régulateur en série.

Le poids du charbon supérieur et de son support, qui sert à rapprocher les crayons, est en partie équilibré par le noyau mobile d'un électro dont les spires sont parcourues par le courant total. Quand le courant passe, le noyau est attiré et les charbons s'écartent ; il y a équilibre lorsque la traction magnétique compense la différence entre le poids moteur et celui du noyau. Celui-ci est établi de façon que, sous l'action du courant d'intensité I et dans les limites prévues pour la course, l'attraction reste invariable, quelle que soit la position du noyau dans l'électro-aimant. Il suffit pour cela que le noyau soit à section décroissante. Dans ces conditions,

on aura en désignant par n le nombre des spires et par p le poids moteur :

$$\mathrm{K}n\mathrm{I} = p.$$

K, coefficient, étant fixe, on en déduit I = Cte.

La construction de ces appareils est assez délicate. Il faut en effet amortir le mouvement des différents organes de manière à ne pas influencer l'arc voltaïque. De là l'obligation d'avoir un nombre considérable d'engrenages qui compliquent énormément ces lampes.

Dans quelques-unes d'entre elles, l'électro-régulateur n'agit pas directement sur le porte-charbon supérieur. Celui-ci est sollicité par un mécanisme dont le fonctionnement est réglé par l'armature de l'électro. Avec ce système, que l'on peut appeler à *déclic* par rapport au précédent dit à *action directe*, l'électro a pour effet de vaincre la résistance f d'un ressort qui s'oppose au mouvement de l'armature. L'équation précédente devient alors $\mathrm{K}n\mathrm{I} = f$. L'action du déclic est intermittente; elle n'a lieu que lorsque I atteint une limite déterminée; cependant, grâce aux nombreuses transmissions, cette oscillation n'est pas visible à l'œil nu.

Les anciens régulateurs de Foucault, de Serrin, Siemens étaient à déclic; ceux d'Archereau, Jaspar, à action continue. Le fonctionnement de ces appareils était très satisfaisant; mais leur prix élevé, dû à leur grande complication, les a fait abandonner.

On verra plus loin qu'on ne peut pas avoir plus d'un régulateur en série sur le même circuit, que la distribution se fasse à courant continu ou à potentiel constant, à moins qu'on ne les groupe avec des régulateurs d'autres systèmes, et encore un seul de ces foyers suffit. En effet, si le circuit est parcouru par un courant d'intensité constante, aucun mécanisme ne peut fonctionner; au contraire, si le potentiel est constant, la nature différente des crayons modifie la longueur des arcs, alors les organes régulateurs entrent en jeu : les arcs longs deviennent normaux, et les normaux, trop courts; la régularisation est impossible.

Toutes les fois que ces régulateurs sont alimentés par une dynamo excitée en dérivation, il faut avoir soin d'intercaler

dans le circuit une résistance additionnelle, sinon les crayons, en se mettant au contact, désamorceraient la dynamo.

§ 3. — Régulateurs en dérivation ou a potentiel constant

177. Principe. — Ces régulateurs, comme les précédents, ne comportent qu'un électro parcouru par une dérivation du courant (*fig.* 190). Le plus souvent, il sert à rapprocher les crayons à l'allumage et pendant la marche. Au repos, ceux-ci s'écartent sous l'action de la pesanteur ou de toute autre force à l'inverse du système précédent, mais ce n'est pas absolu. Lorsque le courant passe, l'écart normal est déterminé par l'équilibre entre le poids p et l'action magnétique du solénoïde. En appelant n le nombre de spires, i l'intensité du courant dérivé, r la résistance de l'électro, E la force électromotrice aux bornes, on a :

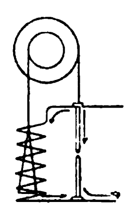


Fig. 190. Régulateur en dérivation.

$$\mathrm{K}ni = p,$$

et, comme $i = \frac{\mathrm{E}}{r}$, on en déduit :

$$\mathrm{E} = \frac{pr}{\mathrm{K}n},$$

c'est-à-dire E est constant, d'où leur nom de régulateur à potentiel constant. Ils sont assez nombreux et sont surtout recherchés à cause de leur grande simplicité ; il suffira d'examiner quelques-uns d'entre eux.

178. Régulateur Brianne. — L'organe principal de cette lampe (*fig.* 191) est un volant assez lourd rendu solidaire du porte-charbon supérieur par l'intermédiaire d'un pignon et d'une crémaillère. Une dentelure ménagée sur le volant engrène avec un secteur denté commandé par le noyau

lamellé d'un solénoïde excité par une dérivation du courant.

Au repos, le noyau, sollicité par la pesanteur, abandonne le solénoïde ; il fait tourner le volant et par suite le pignon, de manière à écarter les charbons. Lorsque le courant passe, le noyau attiré assure le contact des crayons jusqu'au moment où, le courant dérivé par les crayons, le noyau produit à nouveau leur écart, c'est-à-dire l'amorçage de l'arc. Le jeu ordinaire des variations se produit avec une particularité intéressante. Quand la résistance de l'arc est trop considérable, le solénoïde atteint son maximum d'excitation et le noyau enfoncé au fond dans l'électro est à bout de course ; à ce moment, le secteur abandonne le volant; mais, par suite de sa grande masse, ce dernier ne tourne que lentement sous l'action du poids du porte-charbon ; il en résulte que le solénoïde est de nouveau influencé bien avant le rapprochement trop considérable des crayons. Le fonctionnement de cette lampe est très sûr; de plus, grâce à la constitution lamellaire du noyau, on peut l'employer pour les courants alternatifs.

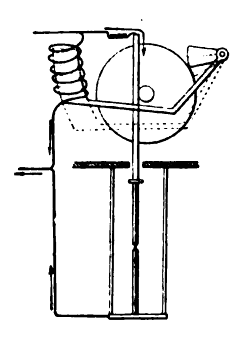


Fig. 191. — Régulateur Brianne.

Le charbon inférieur étant fixe, la lampe est à point lumineux variable. Ce léger inconvénient a été supprimé dans la lampe *Duflos*, où les deux porte-charbons sont mobiles; le fonctionnement est analogue, mais elle est un peu plus compliquée que la précédente. A ce groupe, appartient également la lampe de la *Société Industrielle des Téléphones* à point lumineux fixe.

179. Lampe Kœrting et Mathiesen. — Parmi les nombreux types de lampes construits par cette maison, on peut citer le *modèle F* en dérivation (*fig.* 192), dont le réglage est obtenu par un mouvement d'horlogerie. Les porte-charbons sont suspendus à l'aide d'une chaînette sur un galet, relié au support du mouvement d'horlogerie *c* et participant, par suite, à ses déplacements. Quand la position de celui-ci est telle que la

roue à ailettes *f* est arrêtée par la butée *g*, le mouvement d'horlogerie est fixe, empêchant tout défilage des charbons. Mais, dès que l'armature mobile *b* est attirée dans l'encoche en sifflet de l'électro à deux bobines *a*, monté en dérivation sur les bornes de la lampe, elle fait osciller tout le système vers la gauche autour de l'axe *p* dégageant la roue *f*; le mécanisme d'horlogerie sépare les charbons. L'action de l'armature est contre-balancée par celle du ressort de rappel *e*, dont on peut varier la tension au moyen de la vis *m*, de manière à pouvoir obtenir des voltages différents aux bornes de la lampe. L'appareil se complète d'un amortisseur à air adoucissant les mouvements un peu brusques de l'armature et d'un compensateur à dilatation *k*, formé de deux tubes concentriques, l'un en zinc, l'autre en fer-blanc, dont les dilatations s'ajoutent. Le tube extérieur est relié à la partie haute du noyau de l'électro, et l'extrémité libre du tube intérieur transmet ses mouvements de dilatation au levier *r* de la butée *g*, par l'intermédiaire du levier coudé *no*. Pour équilibrer le poids inégal des crayons, l'axe de rotation du galet des porte-charbons est déplacé du côté du crayon positif par rapport à l'axe d'oscillation *p*, de manière à avoir des bras de levier différents pour chaque charbon.

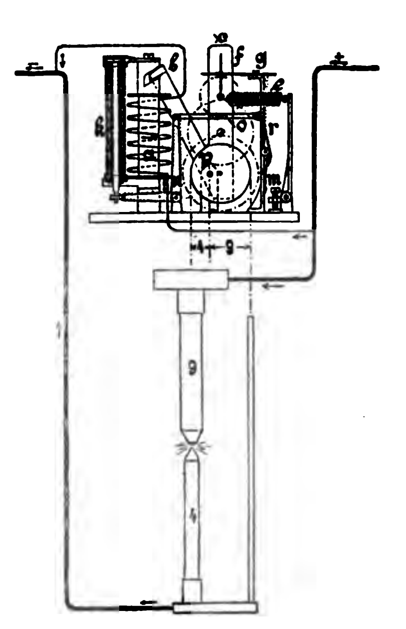


Fig. 192. — Lampe Kœrting et Mathiesen.

Cette lampe se construit également avec deux paires de charbons fonctionnant, soit en tension, pour être seule montée

sur un circuit à 110 volts, soit alternativement de manière à obtenir une durée double d'éclairage.

Le nombre des lampes différentielles à mouvements d'horlogerie est considérable; on peut citer pour mémoire la lampe *Hansen*, et celle de la société *Gramme*.

180. Régulateurs dynamos. — C'est au groupe des lampes en dérivation qu'appartient la série des régulateurs dynamos, dans lesquels le solénoïde de la dérivation des appareils précédents est remplacé par une petite dynamo qui fait mouvoir, au moyen d'un pignon et d'une crémaillère, les crayons. L'induit de la dynamo est parcouru par le courant de l'arc et les inducteurs par une dérivation ; il en résulte un couple variable produisant le mouvement des crayons. La complication provenant de l'emploi du collecteur pour la dynamo réceptrice a fait abandonner le système, qui ne subsiste que pour les courants alternatifs.

En résumé, les régulateurs en dérivation sont caractérisés par leur grande simplicité. Ils ne diffèrent du reste que fort peu des suivants.

§ 4. — Régulateurs différentiels ou a résistance constante

181. Principe. — Dans les appareils précédents, le rapprochement et l'écartement des charbons sont obtenus au moyen d'un seul électro et de mécanismes spéciaux. Siemens a imaginé de remplacer ces derniers par un second électro. Le régulateur est alors à deux électros (*fig.* 193), l'un en série à gros fil, et l'autre en dérivation à fil fin, agissant sur un même noyau ou des noyaux distincts.

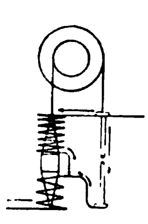


Fig. 193. — Régulateur différentiel.

Si l'un des électros sert à produire l'écartement des crayons, l'autre servira au rapprochement ou inversement. Quand la lampe fonctionne à son régime normal, les deux actions s'équilibrent. Soit I l'intensité de l'électro en série, i' celle

de celui en dérivation, i celle de l'arc, r, r' la résistance et n, n' le nombre des spires correspondantes. On aura, lorsqu'il y a équilibre,

$$\mathrm{K}n\mathrm{I} = \mathrm{K}n\,(i + i') = \mathrm{K}'n'i'$$

en remarquant que

$$\mathrm{E} = ir = i'r'\,;$$

on en déduit :

$$r = \frac{\mathrm{K}nr'}{\mathrm{K}'n' - \mathrm{K}n} = \text{constante.}$$

La résistance de l'arc du circuit restera donc constante, d'où le nom de régulateurs à résistance constante donné à cette catégorie de lampes. Beaucoup de ces appareils, outre les deux électros, contiennent d'autres organes de réglage, comme des freins, des mouvements d'horlogerie; de là trois sortes de lampes : celles sans organes mécaniques, celles à freins, celles à mouvements d'horlogerie.

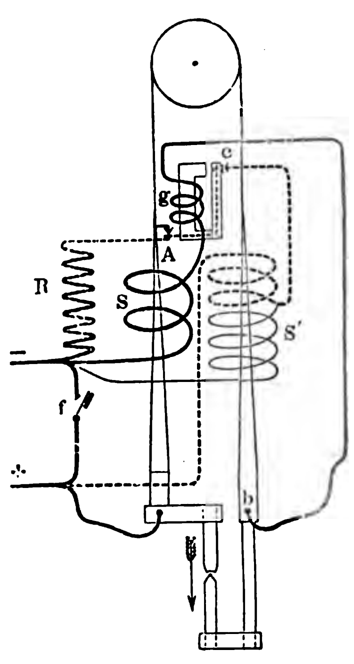


Fig. 194. — Lampe Pilsen.

182. Lampes Pilsen. — C'est le type des lampes sans organes mécaniques. Elle se compose de deux solénoïdes S, S' (*fig.* 194) dont les noyaux équilibrés sont suspendus aux extrémités d'une cordelette. Les solénoïdes disposés au-dessus du plateau

inférieur de la lampe sont maintenus par des tiges verticales. L'électro correspondant au charbon positif est à gros fil; celui du crayon négatif, à fil fin. Les noyaux en fer doux *b* ont une forme conique qui a été déterminée de façon à compenser les variations d'attraction qu'ils subissent, quand ils occupent des positions différentes dans leur solénoïde respectif; le système reste donc en équilibre, quelle que soit l'usure des charbons, reliés chacun à un des noyaux.

Lorsque le courant passe à l'allumage, il agit sur le solénoïde à gros fil, soulève l'armature correspondante et produit l'amorçage de l'arc, en séparant les charbons rapprochés précédemment par leur propre poids. Si la résistance de l'arc tend à augmenter, le solénoïde à fil fin intervient à son tour et attire le porte-charbon négatif, d'où rapprochement des crayons. La régularité du fonctionnement résulte de l'antagonisme des deux électros; l'usure linéaire des crayons étant la même, le point lumineux reste fixe.

Ces lampes se construisent pour toute intensité à partir de 2 ampères; on les monte, par deux ou par trois, sur les circuits à 110 volts. Les lampes destinées à fonctionner en série par plus de trois sont munies, dans le système Henrion de Nancy, de trois organes complémentaires : un dérivateur *g* rendant chaque lampe indépendante à l'allumage grâce à la résistance auxiliaire R, et, au contact *c*, un interrupteur automatique A, la mettant hors circuit lorsque les crayons sont usés, et enfin un interrupteur à main *f* permettant d'isoler la lampe à volonté. M. Henrion, pour empêcher également toute oscillation de la lumière dans les lampes montées en dérivation, a muni la poulie à molette sur laquelle est enroulé le cordonnet d'un frein formé par un cliquet s'opposant au mouvement dans le sens de l'écart des crayons. Ce déplacement ne peut avoir lieu qu'en faisant glisser le cordonnet sur sa poulie.

Les lampes Pilsen, remarquables par leur grande simplicité et leur fonctionnement régulier, sont très répandues.

183. **Lampes Bardon.** — Le nombre des lampes à frein est considérable; dans la plupart, les électros actionnent un frein qui vient arrêter ou ralentir le mouvement de rotation de la

poulie sur laquelle s'enroule le fil qui relie les porte-charbons. C'est du moins le principe des lampes Bardon. Dans un modèle récent de cette maison, la commande de ce frein se fait d'une manière très sensible au moyen d'un dispositif parti-

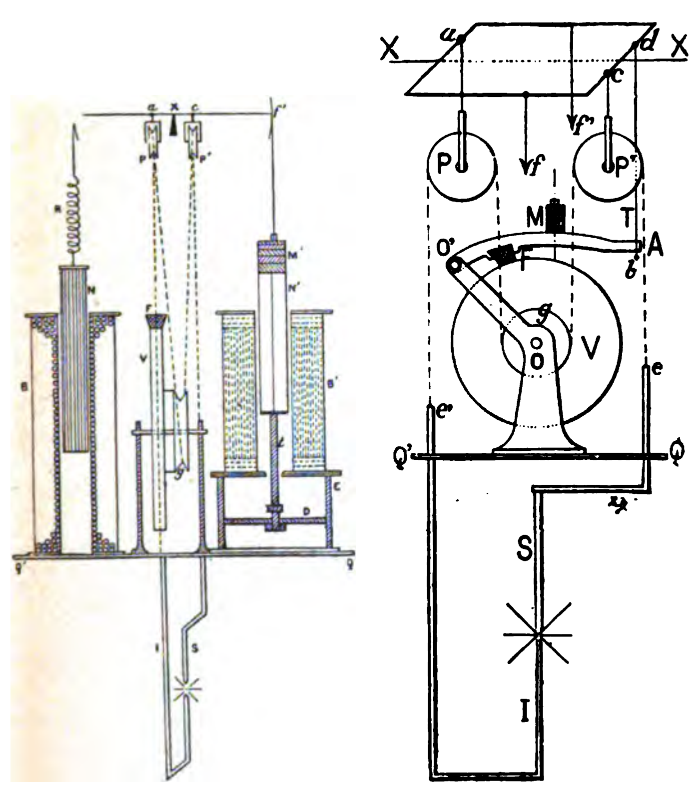


Fig. 195. — Lampe Bardon.

culier (*fig.* 195). Les deux porte-charbons sont réunis par une cordelette *ee'* passant autour des galets P, P' et de la poulie *g*. Les chapes des galets sont suspendues par des couteaux aux points *a* et *c* d'un cadre rigide pouvant osciller de 40° autour de l'axe XX; les poulies P et P' peuvent donc monter l'une par

rapport à l'autre. Le frein F, agissant sur le volant V calé sur l'axe de la poulie g, est traversé par la tige *bd* fixée au cadre oscillant et reçoit, en outre, un poids M. Enfin, on a deux électros : B en série et B' en dérivation, dont les noyaux N, N' impriment au cadre horizontal son mouvement d'oscillation.

Le fonctionnement est le suivant : quand la lampe est hors circuit, le cadre est incliné dans le sens f par l'excès de poids du noyau N' surchargé de rondelles pesantes M' ; le volant V est libre, et les charbons sont au contact. Dès que le courant passe, le solénoïde B en série attire vivement son noyau N ; le cadran bascule dans le sens f', et le frein vient bloquer le volant V. Mais le galet P' continue à descendre, tandis que P remonte, facilitant l'amorçage de l'arc, dont la longueur est supérieure à celle qu'il aura normalement dans le but d'éviter que le courant ne prenne une valeur trop élevée à l'allumage. Lorsque les pointes des crayons sont écartées, c'est-à-dire quand la résistance de l'arc augmente, l'électro en dérivation B' intervient, commençant par équilibrer l'action de B et finissant par faire mouvoir dans le sens f le cadre jusqu'au moment où le volant V est libéré, par suite de la traction de F par *bd* ; les charbons se rapprochent. Le rapprochement a commencé dès que la pression du frein sur le volant, a été assez faible pour que le porte-charbon moteur S puisse entraîner la rotation du volant et des poulies. A partir de ce moment, suivant la prépondérance de l'un ou l'autre électro, les charbons se rapprocheront ou s'éloigneront ; les mouvements du cadre sont amortis par une pompe à air D solidaire du noyau N'. Pour éviter tout grippement de la pompe, le piston D est d'un diamètre plus petit que celui du cylindre ; il est en outre partiellement libre sur sa tige. Le noyau N est formé de feuilles de tôle isolées et rivées ensemble ; il est relié au cadre par l'intermédiaire d'un ressort R destiné à empêcher la transmission au cadre des vibrations dont le noyau est le siège avec les courants alte natifs. Le noyau N' est formé d'un tube de fer fendu suivai une génératrice. Le sabot F est en liège ou cuir. Le réglag se fait au moyen d'un écrou modifiant la longueur de la tige *bd*.

Cette lampe, très sensible, peut être utilisée sur les circuit

sans rhéostat; elle marche indifféremment avec des courants alternatifs ou continus. Pour les premiers, il faut régler le nombre des spires du solénoïde B′ en fonction du nombre des périodes.

Comme lampe différentielle à frein et à bas voltage, on a encore la lampe *Vigreux* et *Brillié*, caractérisée par l'absence de ressorts de réglage, le volant de freinage pouvant être bloqué ou légèrement serré par un frein actionné par les noyaux des électros. Les reculs sont très rapides, d'où une lumière très régulière. On l'emploie surtout pour le montage de trois lampes en série sans rhéostat.

Au lieu de frein, on emploie quelquefois un cliquet qui cale le volant de réglage, comme dans la lampe Pilsen.

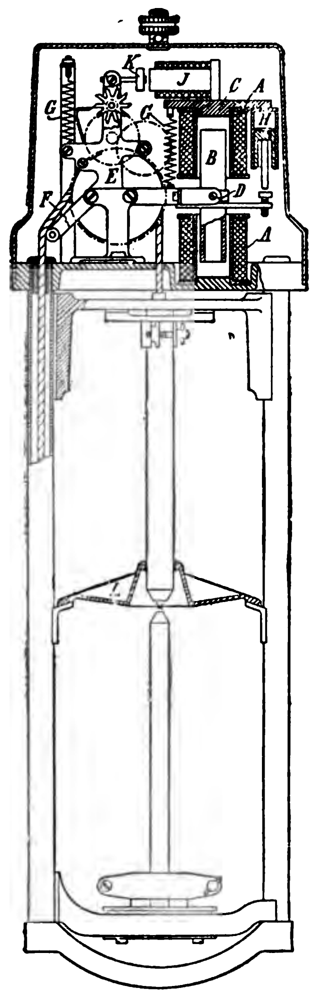


Fig. 196. — Lampe de la Société alsacienne.

184. Lampe de la Société alsacienne. — Comme lampe différentielle à mouvement d'horlogerie, on peut citer la lampe de la Société alsacienne, identique à celle de la Maison Siemens et Halske. On a (*fig.* 196) un électro-aimant différentiel dont l'armature mobile enclenche un mouvement d'horlogerie qui se met en marche sous l'action du poids du porte-charbon supérieur. L'électro est formé de deux paires de bobines A, A

à fil fin et à gros fil réunies par une armature C. Le noyau de fer doux B, commun aux quatre bobines, est en forme d'H dont les quatre branches pénètrent dans l'intérieur des bobines ; il est suspendu à une fourche D fixée au mouvement d'horlogerie. Ce dernier, monté entre deux flasques, est mobile autour d'un axe ; il est composé d'une roue principale E, de deux roues intermédiaires et d'une roue à rochet, dans laquelle peut s'engager un cliquet fixe. La roue principale est solidaire d'une poulie à gorge sur laquelle s'enroule un câble F aux extrémités duquel sont attachés les deux porte-charbons, guidés chacun par une entretoise glissant le long de tiges de guidage. Le mouvement d'horlogerie est suspendu de part et d'autre de son axe de rotation à des ressorts G, qui ont pour but de soulager les pivots du mouvement d'horlogerie. Enfin une pompe à air H, s'opposant au mouvement ascendant du mécanisme, prévient la séparation trop brusque des charbons.

Le fonctionnement se fait de la manière suivante : Au repos, les charbons sont écartés, il en résulte que, quand on ferme le courant, l'électro à fil fin A attire l'armature, qui, en s'abaissant, déclenche la roue à échappement du cliquet fixe ; le mécanisme d'horlogerie se met en mouvement, les crayons se rapprochent. Dès qu'ils sont en contact, le courant passant dans l'électro, l'armature B se soulève, entraîne tout le mécanisme et détermine la formation de l'arc. A partir de ce moment, la position de l'armature et par suite l'arrêt ou le mouvement du mécanisme dépendent de la prépondérance de l'un ou l'autre électro. Les bobines en dérivation de ces lampes sont établies, pour supporter, pendant un certain temps, un voltage de 120 volts sans résistance intermédiaire. Quand la distribution se fait à 220 volts, on intercale, sur chaque circuit de lampe, un interrupteur qui coupe automatiquement le courant, si l'intensité dans le circuit des lampes tombe accidentellement à 20 0/0 au-dessous de sa valeur normale, de manière à préserver les bobines à fil fin ; cet interrupteur sert en même temps d'indicateur de sens du courant et d'interrupteur à main.

Les lampes montées en série sont munies d'un *court-circuit automatique* K, qui n'est autre qu'un électro en dérivation J,

dont chacune des extrémités du fil est en communication avec une borne de la lampe. Quand, pour une cause quelconque, la résistance augmente de 10 à 15 0/0 sur le circuit des crayons, l'intensité dans cet électro auxiliaire devient suffisante pour fermer le circuit des crayons sur une résistance auxiliaire équivalente, de manière que toutes les autres lampes du même groupe continuent à fonctionner régulièrement. Cette résistance auxiliaire est fixée au chapeau de la lampe par des supports en porcelaine pour des lampes de 8 à 10 ampères. Au delà de cette intensité, elle est montée à part. Ces régulateurs se font pour courants alternatifs ou continus, la différence ne portant que sur l'enroulement des bobines à fil fin.

Une autre particularité est l'addition d'un tronc de cône en fer émaillé L, dit économiseur, qui se place au-dessus de l'arc, de manière à gêner la circulation des gaz de la combustion et à retarder par suite l'usure des crayons. L'économie serait de 40 0/0.

§ 5. — Lampes a arc en vase clos

185. Lampe Marks. — L'arc enfermé dans un vase clos a, comme avantage, d'accroître de beaucoup la durée des crayons, au détriment, il est vrai, d'une moindre utilisation du courant, car il faut que le voltage de l'arc soit de 80 à 85 volts. Cet emploi d'un voltage élevé a fait le succès du premier appareil de ce genre, c'est-à-dire de la lampe Marks (*fig.* 197). Le système de réglage de la lampe est assez simple ; on a deux solénoïdes B, B munis de noyaux en fer doux

Fig. 197. — Lampe Marks.

portant une armature, agissant sur un frein entre les sabots duquel passe la tige du porte-charbon supérieur. Au repos, les charbons sont en contact; lorsqu'on envoie le courant, le charbon supérieur V_2 est soulevé, donnant un arc de 10 millimètres. Sur le charbon inférieur V_1, qui est fixe, repose le vase clos G fermé, à la partie supérieure, par un obturateur spécial ou régulateur d'admission d'air qui permet la dilatation et un renouvellement très faible de l'air enfermé. Ce régulateur, en forme de bouchon de 15 millimètres de longueur, est muni dans le milieu d'un orifice assez large pour le passage des crayons, et agrandi, en outre, à sa partie inférieure pour former avec les gaz une sorte de garniture étanche.

L'air entre dans le bouchon par un petit orifice ménagé sur le haut et les gaz sortent par des rainures tracées dans le bas. Il y a circulation des gaz et de l'air, mais avec formation de remous qui en atténuent la vitesse, augmentant ainsi la durée des charbons. Autour du premier vase clos, se trouve un second globe fermé par une soupape formant une seconde enceinte préservatrice, qui se remplit des gaz brûlés dans le petit globe. Les charbons, de $11^{mm},11$ de diamètre, ont : le supérieur, 305 millimètres, et l'inférieur, 120 millimètres; leur durée est de cent cinquante à deux cents heures. Ces lampes fonctionnent sur des circuits de 110 à 115 volts; elles sont alors munies d'une résistance auxiliaire R.

186. Lampe Bardon. — Il existe un très grand nombre de lampes en vase clos ne différant de la précédente que par des détails de construction. Dans la lampe Bardon à longue durée pour courants alternatifs ou continus, le porte-charbon supérieur (*fig.* 198) est seul mobile; dans ce but, la tige S du porte-charbon passe au travers d'une griffe G dont l'extrémité *g*, formée par deux pattes recourbées qui s'appuient sur le plateau inférieur de la lampe *b*, est reliée par la bielle T' à la branche T d'un levier O à contrepoids M' dont l'autre branche L communique avec le noyau N du solénoïde à gros fil B en série avec le circuit de l'arc FF'. Comme dans les autres lampes Bardon, les mouvements sont amortis au moyen

d'une pompe à air PC. Le fonctionnement est très simple : au repos, la griffe laisse passer le charbon supérieur, qui vient en contact avec le charbon inférieur. Mais, dès que le

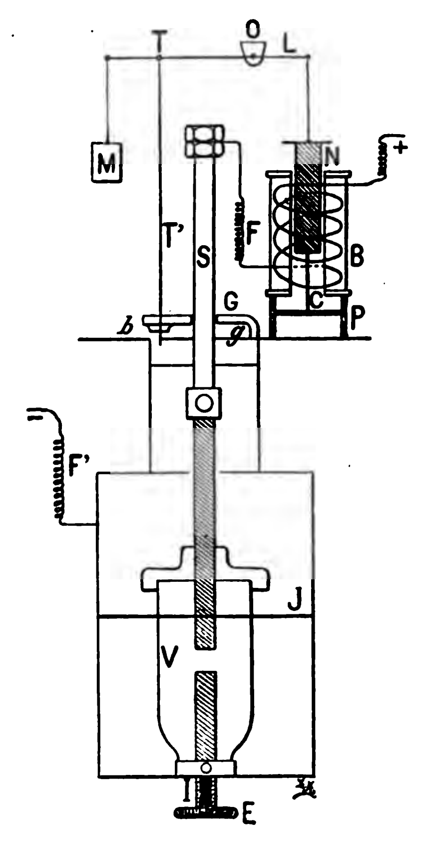


Fig. 198. — Lampe Bardon.

courant passe, entraînée par le noyau, elle élève le crayon et amorce l'arc.

Le vase clos V est fermé par un chapeau s'appliquant sur le vase rodé et laissant passer, sans coincement, le charbon,

Un cercle métallique J maintient le vase, tout en lui permettant un mouvement latéral pour faciliter la descente du charbon sans le coincer contre le chapeau. A la partie inférieure, le vase est fermé par une vis E empêchant toute rentrée d'air par le crayon négatif I. Pour changer les crayons, on soulève le cercle de cuivre J qui entraîne le chapeau par l'intermédiaire du vase. La lampe ainsi établie ne peut se monter qu'isolée sur des circuits de 100 à 120 volts ; si on voulait les grouper par 2 sur 220 volts, il faudrait remplacer le solénoïde en série par un autre en dérivation sur les bornes de la lampe. La durée d'éclairage est de 130 à 280 heures suivant l'intensité.

La lampe de l'*Allgemeine Elecktricitats Gesselschaft* a un

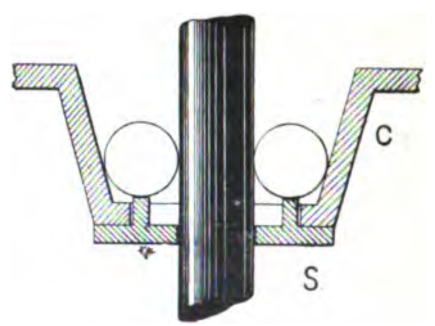


Fig. 199. — Défilage du charbon supérieur.

fonctionnement analogue, c'est-à-dire à balancier. Il n'y a que le défilage du charbon supérieur, seul mobile, qui présente une particularité. Le porte-charbon est (*fig.* 199) en forme d'étui conique C recevant des rondelles métalliques enfilées sur un guide ; ces rondelles tendent à descendre au fond du cône en produisant le coincement; mais il faut pour cela que le porte-charbon ait été soulevé légèrement, de manière à libérer la pièce S qui maintient les rondelles soulevées. Cette pièce devient libre lorsque le charbon est soulevé, mais l'ascension est limitée par les rondelles qui, elles, retombent en immobilisant le crayon.

§ 6. — Lampes a courants alternatifs

187. Principe. — L'emploi des courants alternatifs nécessite quelques modifications du solénoïde et du noyau. En effet, la sel-finduction augmente, d'une manière considérable, la résistance apparente de la bobine et diminue, dans la même mesure, le nombre des ampères-tours. Un autre inconvénient, signalé par M. Claude, c'est que cette self-induction varie avec l'enfoncement du noyau ou le rapprochement de l'armature de la bobine, au point de réduire l'augmentation d'intensité qu'avait fait naître, dans cette bobine, un accroissement de voltage aux bornes. Pour compenser cette perte, il faut donner au mécanisme une plus grande sensibilité. M. Claude a proposé l'emploi de condensateur annulant la self-induction de la bobine ; mais ce dispositif n'a pas été appliqué.

La self-induction a, par contre, quelques avantages ; la résistance apparente est indépendante des variations de la température des bobines de réglage, ce qui n'a pas lieu avec les courants continus.

Il faut avoir soin de lameller le noyau de la bobine pour éviter tout échauffement exagéré par suite du changement de sens des courants. La carcasse de la bobine doit être isolante ou bien fendue pour éviter les courants parasites. La plupart des lampes en dérivation ou différentielles examinées précédemment peuvent être employées pour courants alternatifs ; mais il convient de citer les lampes à moteur, qui sont très simples et dont la suivante peut servir de type.

188. Lampe de l'Allgemeine Elecktricitats Gesselschaft. — L'induit (*fig.* 200) est formé par un disque léger en aluminium mobile autour d'un axe horizontal. Il y a deux sortes d'inducteurs : l'un en série, l'autre en dérivation ; ils forment deux électros distincts à noyaux verticaux ayant leur épanouissement polaire symétriquement placé par rapport à l'axe de rotation de l'induit. Des pièces de cuivre disposées autour de chacun des deux entrefers sont parcourues par des courants de Foucault quand le champ correspondant est excité ; mais, en même temps, des courants de même sens sont induits

dans le disque et, comme il est mobile, il se met à tourner.

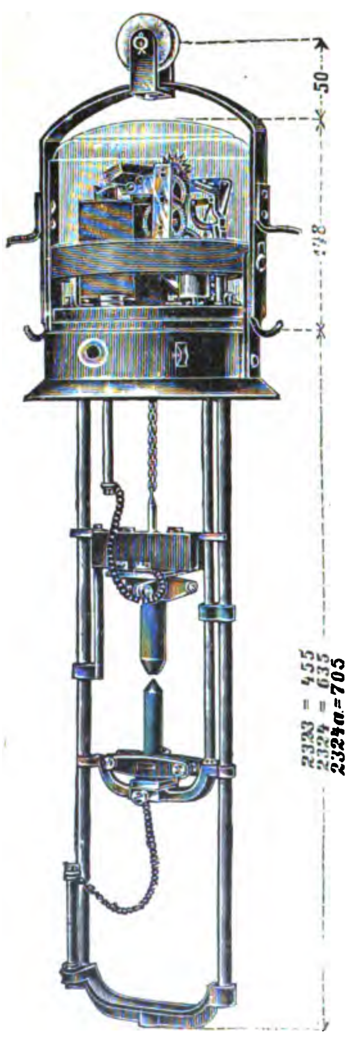


FIG. 200. — Lampe de l'Allgemeine Elecktricitats Gesselschaft.

L'action des deux électros se fait en sens inverse : celui en série fait tourner le disque de manière à éloigner les crayons, celui en dérivation les rapproche au contraire. Les mouvements du disque se transmettent par engrenages à une noix, sur laquelle est placée la chaîne qui relie les deux crayons mobiles : la lampe est donc à point lumineux fixe.

Le réglage s'effectue, pour l'intensité de courant voulue, en diminuant ou augmentant la distance entre la culasse et les épaulements des noyaux de l'électro en série, c'est-à-dire en modifiant son entrefer.

189. Lampe Hackl. — Au lieu de disposer les charbons verticaux, on peut les incliner l'un par rapport à l'autre de manière à former, entre eux, un angle de 90°, et de 45° sur l'horizontale; la répartition de lumière ainsi obtenue est meilleure que dans le système ordinaire. C'est le

dispositif adopté dans la lampe Hackl (*fig.* 201). Chaque charbon est supporté par une tige à crémaillère commandée par un système de roues dentées reliées à une roue commune ayant le même axe qu'un disque d'aluminium.

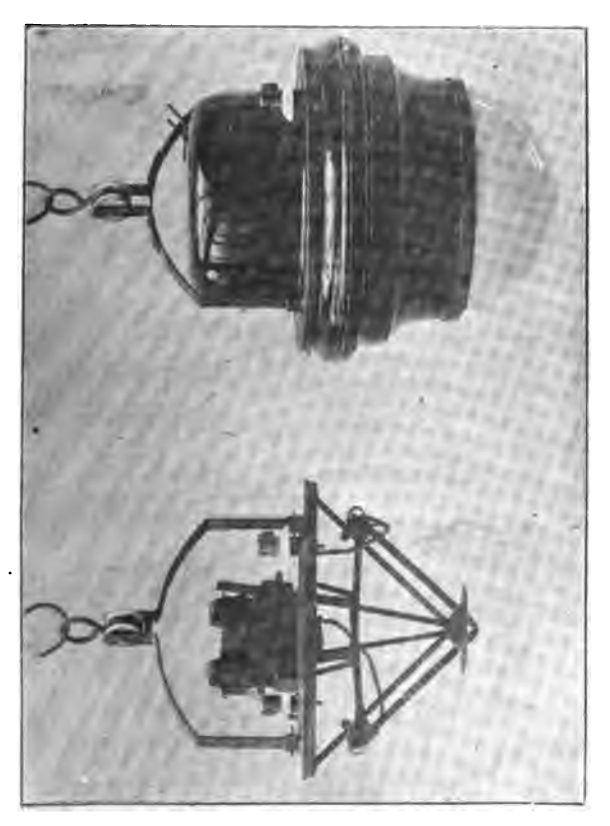


Fig. 201. — Lampe Hackl.

Ce disque est placé dans un champ différentiel formé par deux solénoïdes dont l'un est en série avec l'arc, l'autre en dérivation ; suivant la prépondérance de l'un des solénoïdes, le disque tourne dans un sens différent, amenant le rapprochement ou l'écart des crayons. Les charbons sont aplatis

sur leur partie supérieure, de manière à pouvoir rapprocher les mèches. Un réflecteur protège l'arc contre les courants d'air et renvoie vers le bas le peu de lumière ascendante. Tout l'ensemble du mécanisme très ramassé repose sur un plateau auquel sont fixés, au-dessous, l'étrier de suspension et les tringles de guidage des porte-charbons.

On construit ces lampes pour des intensités de 10 à 12 ampères ; on les monte par deux en série sous 110 volts ; les charbons ont une durée de huit à douze heures.

190. **Bougies.** — Enfin, on peut placer les charbons à côté l'un de l'autre ; en les séparant par une matière isolante, on obtient alors la bougie électrique (*fig.* 202), dans laquelle les crayons, de 4 millimètres de diamètre sur $0^m,25$ de longueur, sont montés dans des douilles en cuivre ouvertes sur toute leur longueur de $0^m,045$ et séparées entre elles par une cloison isolante de $0^m,03$. La pâte isolante ou colombin est formée par un mélange de sulfate de chaux et de baryte. On ferme l'arc à l'allumage en réunissant les deux pointes de charbon par un filament en plombagine, qui se volatilise sous l'action du courant ; il en est de même de la substance isolante, qui disparaît au fur et à mesure de l'usure des crayons.

Fig. 202. Bougie électrique.

Les douilles sont maintenues dans des mâchoires ou chandeliers dont l'une est fixe, l'autre mobile autour d'une charnière à ressort. La durée d'une bougie n'étant que de deux heures environ, il faut, au cours d'une nuit, les remplacer assez souvent. On avait imaginé une série de dispositifs pour l'allumage successif de bougies groupées sur un même chandelier, mais on s'est aperçu qu'il suffisait de réunir en quantité les baguettes correspondantes de chaque bougie ; comme leur résistance n'est pas exactement identique, le courant passe plus facilement par l'une d'elles dont l'amorce fond. Après l'usure complète de celle-là, c'est la moins résistante qui prend tout le courant, et ainsi de suite.

Le principal avantage de la bougie est sa grande simplicité ;

mais cette lumière manque de fixité; de plus, si l'arc s'éteint, il ne se rallume pas seul. Le voltage est assez élevé, 42 à 45 volts. Le colombin provoque, en outre, des changements de couleur dans la lumière; enfin les crayons coûtent plus cher que ceux des régulateurs; c'est pour ces divers motifs qu'on prefère ces derniers appareils.

191. Lampe Bremer. — C'est une lampe bien spéciale, caractérisée déjà par ses crayons, lesquels contiennent des matières minérales, en particulier du fluorure de calcium, ce qui permet de donner à l'arc une belle couleur jaune et une longueur supérieure à la normale. Le régulateur (*fig.* 203) com-

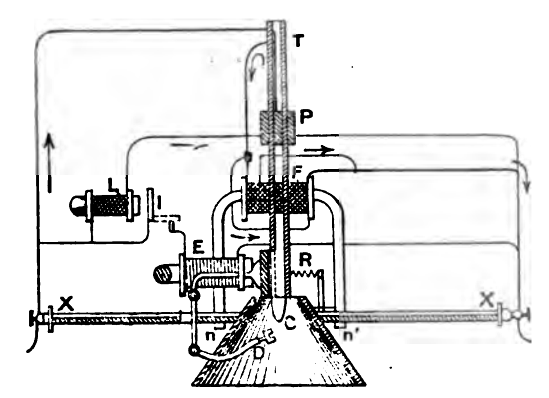


Fig. 203. — Lampe Bremer.

porte deux crayons C inclinés de 30° l'un par rapport à l'autre et coulissant dans deux tubes poussés par un contrepoids P. Le mouvement de descente est arrêté par un frein à deux patins, qui pénètre dans une fente ménagée sur les tubes. Ce frein est manœuvré par un électro E, dans lequel le courant est envoyé par un relais T, toutes les fois que la différence de potentiel aux bornes tend à s'élever. Le frein actionne également une butée D, formée par une pièce métallique au bout d'un levier, qui sert à régler la longueur des crayons et à les relier électriquement à l'allumage. Enfin

un champ magnétique obtenu à l'aide de l'aimantation de deux solénoïdes F enroulés en sens inverse, dont l'un est en série, l'autre en dérivation sur le circuit de l'arc, sert à fixer l'arc et à l'étaler. L'armature est formée d'un faisceau de fils de fer disposés sur les deux côtés de l'arc *nn'*. Tous ces organes sont montés sur un plateau X X, qui reçoit au milieu un cône réflecteur formant cheminée d'appel pour les gaz de la combustion, de manière à éviter l'échauffement des organes.

A l'allumage, les crayons étant séparés, le courant dérivé L traverse le relais qui envoie le courant dans la bobine du frein ; les crayons peuvent descendre jusqu'à la butée D qui ferme le circuit entre les deux. Aussitôt, le relais cessant d'agir, le frein rappelé par le ressort R immobilise les crayons et rejette la butée en arrière ; l'arc se forme à partir de ce moment, le champ différentiel fixe cet arc et le souffle énergiquement vers le bas ; cet allongement de l'arc a pour effet de réduire l'intensité du courant. Les chiffres suivants résument les données de cette lampe, variables avec les crayons.

Différence de potentiel (volts)...............	45^v,9 à 45,2
Intensité moyenne (ampères)..............	9^a,45 à 8,75
Puissance moyenne (watts)...............	427 à 400
Flux lumineux (lumens)..................	13.950 à 8.020
Intensité moyenne sphérique (bougies).....	1.110 à 638
Intensité moyenne 1/2 sphérique (bougies).	2.220 à 950

Soit une consommation de 0,385 à 0,618 watt par bougie sphérique. Cette lampe fonctionne avec un crayon spécial à mèche de 7 millimètres au positif et de 6 millimètres homogène Siemens au négatif ; avec les courants alternatifs, on a deux crayons à mèche.

§ 7. — Montage et organes des lampes

192. Mode d'emploi des régulateurs. — *Distribution à potentiel constant.* — On a vu précédemment que les arcs pouvaient se monter par groupe de deux, trois ou même davantage sur un même circuit ; il en est de même des régu-

lateurs; mais il faut pour cela qu'ils satisfassent à certaines conditions, suivant que la distribution du courant se fait à potentiel constant ou à intensité constante. D'une manière générale, quel que soit le système, il faut, pour obtenir une lumière fixe, que la force électromotrice et l'intensité de l'arc ne varient pas.

Si E désigne le potentiel aux bornes du circuit, $e_1, e_2..., e_n$ celui des lampes, $i_1, i_2..., i_n, r_1, r_2..., r_n$ les intensités et résistances correspondantes, r la résistance du circuit y compris le rhéostat auxiliaire, s'il y en a un, et I son intensité, on aura dans le cas de lampe à *intensité constante :*

$$E = e_1 + e_2 + ... \quad + rI = I(r_1 + r_2 + ... r);$$

les valeurs E, r et I étant constantes, la valeur $e_1 + e_2 + ...$ est également constante; mais chacune d'elles ne l'est pas séparément. Il en résulte des arcs longs à certaines lampes et courts à d'autres, ce qui revient à dire qu'il est impossible de grouper, même par deux en série, les lampes à intensité constante.

Avec les lampes en *dérivation*, c'est-à-dire à potentiel constant, l'équation reste la même, mais les valeurs $e_1, e_2...$ étant constantes séparément, si r a une valeur déterminée, rI est constant, et le réglage est parfait, quel que soit le nombre de lampes; mais il faut pour cela que r ne soit pas nul, sinon I peut être quelconque. On voit donc qu'il ne suffit pas de régler les différences de potentiel e à chaque lampe pour avoir un régime stable quand r est nul; par suite, les régulateurs ayant des bobines de réglage en dérivation nécessitent une résistance auxiliaire presque toujours suffisante avec celle du circuit, surtout s'il s'agit de lampes à bas voltage. Il en résulte une amélioration de rendement, mais il ne faut pas perdre de vue que les lampes à voltage plus élevé, montées deux par deux en série, sont plus simples et plus robustes et ne risquent pas d'être brûlées par une augmentation anormale de l'intensité du courant.

S'il s'agit de lampes différentielles, on a :

$$I = \frac{E}{r_1 + r_2 + ... r}.$$

I est donc constant, par suite $e_1 = r_1 I$ est aussi constant ; le réglage est complet; de plus, r peut être nul, ce qui explique la supériorité des lampes différentielles, surtout s'il s'agit de lampes à faible voltage. On compte en effet, en moyenne, une perte supplémentaire de voltage de : 30 0/0 avec les régulateurs en dérivation et 15 0/0 pour les différentiels, soit par exemple, pour un arc de 30 volts, 39 en dérivation et 34,5 comme différentiel; si on ajoute à ce dernier chiffre 3 à 4 volts pour tenir compte du rhéostat de réglage, on aura le voltage minimum d'une lampe à courant continu avec charbons spéciaux, soit 37 à 38 volts. La valeur de r n'intervenant plus, on peut monter les lampes par groupe de 3 sur 110 volts ou 6 sur 220; cependant il y a intérêt à forcer un peu le voltage à 220 volts et 240 volts.

L'arc alternatif nécessite une moindre résistance auxiliaire, à cause de la plus grande sensibilité du mécanisme des lampes : on aura, pour l'arc de 30 volts, 1v,50 dans la résistance de réglage.

Un autre avantage des lampes différentielles est qu'elles sont plus sensibles, par suite des faibles variations d'intensité. Par contre, les lampes en dérivation sont plus simples ; leur réglage se faisant dans de plus grandes limites d'intensité, elles risquent moins d'être brûlées.

M. Girault a montré qu'on pouvait sans inconvénient, et même quelquefois avec avantage, grouper entre elles des lampes de réglage différent. C'est ainsi que l'addition d'une lampe à intensité constante sur un circuit comprenant des régulateurs d'un autre système est avantageuse ; l'emploi de cette lampe revient à maintenir constante l'intensité commune à tous les autres appareils, qui ont déjà leur force électromotrice ou leur résistance constante; l'énergie de chaque lampe ne change pas.

Distribution à intensité constante. — C'est le dispositif adopté pour le montage des arcs en série dans la distribution à haut potentiel. Il n'est pas possible d'adopter les lampes à intensité constante, ce qui revient à dire que ces régulateurs ne peuvent être employés qu'isolément ou un seul avec d'autres appareils, comme on vient de le voir. Par contre, on peut se

servir indifféremment des autres systèmes. Il faut éviter cependant les régulateurs en dérivation dont les charbons sont séparés à l'allumage : en effet, si tous les crayons ne se rapprochent pas en même temps, la lampe qui reste la dernière a son électro soumis au potentiel total du circuit qui, dans ce cas, est très élevé, et, si l'isolement n'est pas très bon, il peut se produire un court-circuit.

193. Organes des lampes. — *Mécanisme.* — On a tout intérêt à avoir des régulateurs simples et robustes, de manière à simplifier les manipulations et à pouvoir généraliser leur emploi. Les réparations doivent être faciles et rapides et ne pas exiger d'ouvriers spéciaux. Outre ces qualités, qui permettent d'avoir des appareils fonctionnant d'une manière continue, il faut encore que la lumière obtenue soit absolument fixe sans variations appréciables.

D'une manière générale, le rapprochement des crayons, qui doit être rapide, se fait sous l'action de la pesanteur ou d'un solénoïde ; par contre, leur écartement est obtenu par un mouvement d'horlogerie, un moteur électrique ou un électro-aimant.

Les divers déplacements peuvent se faire d'une manière continue, et le réglage a lieu d'une façon constante. Il peut, au contraire, être intermittent, et alors, pour éviter les secousses, on a recours à des organes spéciaux, freins électriques, pneumatiques ou mécaniques.

Les lampes à *mouvement d'horlogerie*, les plus anciennes, redeviennent de nouveau à la mode à cause de leur plus grande sensibilité ou de leur faible consommation d'énergie ; mais elles sont toujours compliquées et donnent lieu à des réparations fréquentes, par suite de l'oxydation des pièces ou de la poussière ; de plus, elles sont d'un prix élevé, mais leur fonctionnement est très régulier.

Les régulateurs à *dynamo* ont une marche régulière, le réglage étant continu. Souvent, au repos, les crayons sont écartés, condition favorable à la mise en marche des machines génératrices; mais la complication du collecteur les a fait abandonner pour les courants continus, sauf dans le cas de grosses lampes de projections. Par contre,

pour les courants alternatifs, où le moteur asynchrone se réduit à un simple disque, leur emploi semble tout indiqué.

Les régulateurs à *solénoïdes* sont les plus répandus ; on a un ou deux électros, suivant qu'il s'agit de régulateurs en dérivation ou différentiels. Les plus simples sont ceux dans lesquels les électros agissent directement sur les porte-charbons ; dans les autres, il faut se servir d'organes intermédiaires. Quel que soit le système, il faut qu'une faible variation dans l'écart des crayons se traduise par un déplacement considérable des armatures, de manière à provoquer un réglage énergique. Quelques organes produisent le déplacement des crayons d'une manière continue; le seul inconvénient est le réglage du début, car il faut que la position relative des deux noyaux ou d'un noyau reste constante, pour que le réglage subsiste. Ce résultat est difficile à obtenir, surtout avec les courants alternatifs. Dans les lampes où le réglage est intermittent, on a des appareils à déclenchement ou à frein pour supprimer les secousses. L'action du frein peut être énergique, empêchant toute vitesse exagérée, ou procéder également par arrêts successifs ; mais, quel que soit le dispositif, il faut permettre un mouvement de recul à l'allumage. Quelques lampes, à action continue, sont également munies d'un frein qui n'a d'autre but que d'empêcher les crayons de prendre un mouvement oscillatoire à l'allumage.

Dans toutes les lampes à point lumineux fixe, les crayons sont réunis souvent par un cordonnet en soie dont la longueur varie avec la température et l'état hygrométrique de l'air ; de plus, il arrive parfois que, sous l'action d'une secousse un peu forte, le cordonnet casse ; il faut pouvoir le remplacer rapidement. Aussi lui préfère-t-on souvent une chaîne métallique, plus résistante. On doit également éviter l'emploi des ressorts, qui se déforment à la longue, et les remplacer autant que possible par des électros.

Les diverses pièces métalliques des lampes se font en laiton ou en fonte, sauf pour les noyaux des électros où l'on adopte le fer doux ; avec les courants alternatifs, il faut avoir soin d'employer des noyaux lamellés pour éviter tout échauffement exagéré. Les fils conducteurs se font en cuivre

isolé. Pour l'isolement électrique des pièces métalliques, on emploie la résine, le mica ou la fibre vulcanisée. Les isolants résistants à haute température sont préférables, car ils ne sont pas détruits au moindre échauffement de l'appareil. La section des fils doit être suffisante pour supporter, sans inconvénient pendant quelques instants, un accroissement important de l'intensité.

Les organes du mécanisme sont enfermés dans une chemise ordinairement en tôle, et la hauteur de cette partie de la lampe doit être aussi faible que possible, de manière à pouvoir augmenter la longueur des crayons sans accroître la longueur totale de l'appareil.

Le boisseau de la lampe doit présenter les ouvertures nécessaires au passage des porte-charbons qui ont une assez grande longueur. Pour maintenir leur parallélisme, on les guide au moyen de galets ou de coulisses spéciales. Dans ce dernier cas, il faut faire communiquer électriquement le porte-crayon et la coulisse, l'isolement étant très difficile à maintenir entre ces deux pièces. Très souvent, on se sert des porte-crayons comme conducteurs de courant.

Les crayons sont fixés dans leur support au moyen de pinces ou de vis. Les vis sont difficiles à manœuvrer pendant le fonctionnement de l'appareil; mais le crayon est bien maintenu. Avec les ressorts, la manœuvre est plus simple; mais, à la longue, ils perdent de leur élasticité.

On doit pouvoir déplacer les crayons dans tous les sens. Les charbons doivent être bien parallèles et se toucher toujours par la pointe de manière à faciliter la formation de l'arc sur toute leur longueur.

194. Rendement lumineux. — Il est tout d'abord indispensable, comme le fait remarquer M. Blondel, de bien définir l'intensité lumineuse choisie et de bien spécifier le régime de l'arc. Le rendement lumineux est fonction de trois éléments principaux : la force électromotrice entre les charbons, la longueur de l'arc et le diamètre des charbons.

Ce rendement lumineux croît avec la tension et avec la réduction du diamètre des crayons jusqu'à un certain maximum qui dépend de la densité du courant. Ce maximum,

d'après les expériences de M. Blondel, varie de 10 à 25 lumens ou de 0,8 à 2 bougies (Hefner), moyenne sphérique par watt pour le courant continu, et de 5 à 17 lumens ou 0,4 à 1,40 bougies (Hefner) pour le courant alternatif.

Si on évalue (Blondel) l'intensité *moyenne sphérique* en bougies avec des crayons appropriés à chaque lampe en fonction de l'énergie dans les limites comprises entre 300 et 1.500 watts, on a pour cette intensité : courants continus, 1,75 par watt ; courants alternatifs, 0,90 par watt.

Le rendement plus faible du courant alternatif serait, d'après un grand nombre d'auteurs, la conséquence des conditions défavorables dans lesquelles on l'emploie. Le rendement s'accroît, d'une manière générale, avec la puissance de la lampe, ce qui s'explique par l'augmentation de la densité de courant et par une réduction relative du shunt de réglage. Les lampes adoptées vont, pour les courants continus, de 2 à 25 ampères ; pour les alternatifs, on ne descend pas au-dessous de 4 ampères.

Si on mesure l'intensité *moyenne hémisphérique*, on a comme consommation spécifique : $1^{watt},1$ par bougie Hefner pour les lampes à courants alternatifs de 200 watts ou celles à courants continus de 60 watts et $0^{watts},68$ pour les lampes alternatives de 1.100 watts ou continues de 150 watts. Dans ces limites, le rapport de consommation à puissance égale entre les continus et les alternatifs est de 2 à 1,5 environ. M. Wedding donne $1^{watt},83$ pour des lampes de 5 ampères et 55 volts à courants continus avec globe opalin absorbant 30 0/0 de la lumière.

En Amérique, pour des lampes à courants continus de 450 watts, on a trouvé $0^{watt},75$ par bougie anglaise avec globe et $0^{watt},4$ par bougie sans globe. En résumé, on peut prendre 1 watt par bougie sphérique pour des lampes montées deux à deux en tension sur 110 volts avec globe dépoli ou opalin.

En ce qui concerne les lampes à bas voltage dont le succès est dû à l'emploi de charbons spéciaux à mèche minéralisée très conductrice, le rendement n'est pas supérieur aux précédents. M. Wedding a trouvé :

Pour une lampe Hegen de $35^{v},5$ et $9^{a},07$: $1^{w},94$ par bougie.
— ordinaire de $39^{v},7$ et $9^{a},03$: $1^{w},80$ par bougie.

On pourrait abaisser encore le voltage, c'est-à-dire un des facteurs de la puissance; mais le rendement lumineux diminue également; cependant, comme l'usure des crayons est moindre, il n'y aurait qu'à réduire le diamètre pour améliorer le rendement.

Pour l'arc enfermé, dont la flamme se déplace constamment dans les mesures, il faut tenir compte du vase clos; aussi le rendement est-il plus faible. D'après M. Blondel, il serait de $1^{watt},17$ par bougie sphérique pour une lampe Marks à courant continu de $4^{amp},5$ sous 75 à 80 volts entre crayons de 12 millimètres, soit les 2/3 de celui d'une lampe à air libre de même puissance ou de deux en série de $4^{amp},5$. M. Wedding a trouvé des chiffres plus forts, $2^{watts},90$ par bougie de l'intensité moyenne hémisphérique (lampe Jandus de $3^{amp},5$, voltage 110, avec crayons de 10 millimètres) et $1^{watt},81$ pour lampe de 4 ampères sur 110 volts avec crayons de 13. On peut donc adopter 2 watts en moyenne. Ici encore, on a intérêt à adopter des lampes de forte intensité et à faible diamètre de crayon. Pour l'arc enfermé à courants alternatifs, la consommation spécifique est de 3 à $4^{watts},3$ par bougie Hefner aux bornes de la lampe.

CHAPITRE XI

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE PAR INCANDESCENCE

§ 1. — Filaments en carbone

195. Principe. — *Propriétés.* — Le principe de l'éclairage par incandescence consiste à faire passer, dans un filament de section assez faible, un courant, de telle sorte que, d'après la loi de Joule, le filament s'échauffe au point de devenir incandescent. Le nombre des substances qu'on peut rendre ainsi incandescentes par le courant électrique est assez considérable; mais la condition essentielle de résistance mécanique à cet échauffement réduit ce nombre au carbone, à quelques composés spéciaux à base d'oxydes des terres rares et à des métaux peu fusibles. Il n'y a donc actuellement que trois sortes de lampes à incandescence : celles à filaments en carbone, celles à filaments à base d'oxydes et enfin celles à métaux peu fusibles.

La lumière obtenue avec le carbone est d'un jaune clair se rapprochant de celle du gaz; elle est plus ou moins blanche suivant le degré de chaleur du filament. La température obtenue dans le filament serait, d'après Weber, de 1.565° à 1.580°; mais, d'après M. Le Chatelier, elle atteindrait 1.800°. M. Janet a trouvé des chiffres intermédiaires, 1.610 à 1.620°; avec des filaments un peu gros, elle est un peu plus élevée, de 40° environ. A ces hautes températures le carbone serait vite brûlé; de là l'obligation de l'enfermer dans un récipient en verre où l'on a eu soin de faire le vide. Il en résulte que la fabrication de ces appareils est assez compliquée.

On peut employer indifféremment les courants continus ou les courants alternatifs; avec ces derniers, il faut avoir soin qu'il y ait au moins 85 alternances (Niagara) par seconde pour que l'œil ne soit pas influencé par le changement de sens du courant.

Les filaments en carbone sont généralement en deux parties concentriques : une intérieure ou âme obtenue par la calcination de cellulose ou de carbone en pâte, et l'autre extérieure constituée par du carbone déposé à haute température. Celui-ci est de couleur gris clair, tandis que celle de l'âme est noire ; son pouvoir émissif est donc inférieur ; par contre, sa résistance mécanique est plus élevée, et le filament, trop fragile avec l'âme seule, acquiert grâce à lui une certaine élasticité ; enfin il se désagrège moins que le carbone calciné. M. Howell a montré que la résistance élastique de l'âme décroît avec la température, mais que, par contre, celle du carbone déposé se comporte comme du graphite pur, c'est-à-dire qu'il y a équilibre. Suivant que la proportion de carbone intérieur ou extérieur l'emporte, la résistance des filaments peut croître, rester stationnaire ou décroître avec la quantité de chaleur.

Intensité lumineuse. — L'intensité lumineuse en fonction de l'énergie ei (e, voltage ; i, intensité) peut se représenter par la formule de Voit :

$$I = \alpha (ei)^3 ;$$

la valeur du coefficient α varie entre $22,5 \times 10^6$ et $84,6 \times 10^6$, d'après la nature du filament, son degré de chaleur et sa masse. M. Blondel a relaté que l'éclat intrinsèque, à température donnée, croît avec le diamètre du filament ; pour les filaments fins, l'éclat va en diminuant du centre à la périphérie ; au contraire, pour les gros dépassant l'épaisseur limite de rayonnement, la diminution n'a lieu que très près du bord.

Weber a donné la relation :

$$I = \frac{6,8 \times 10^{13}}{\alpha^2 s^2} (ei)^3.$$

I, intensité sphérique moyenne ; s, la surface, et α, un coefficient égal à 129×10^{-7} pour les filaments brillants et 171×10^{-7} pour les autres. Enfin, Fellmann donne une relation dans laquelle le voltage entre seul :

$$I = 2{,}64 \times 10^{-3} e^{6{,}8}.$$

La distribution de la lumière avec les lampes à incandescence n'est pas uniforme, étant donnée la forme du filament, qui affecte celle d'un fer à cheval, d'une boucle simple ou double ; pour obtenir une répartition uniforme le filament doit avoir la forme d'une double hélice verticale. M. Janet a constaté, en outre, qu'avec les courants alternatifs l'intensité lumineuse variait dans une période : ainsi, pour une fréquence de 40 périodes par seconde, une lampe de 16 bougies donne successivement : 14,11 et 18,5 bougies, soit une variation de 13,7 0/0 avec un décalage de 26 à 30° entre l'intensité lumineuse et la puissance électrique. Généralement, avec les formes en boucle ou en fer à cheval, l'intensité atteint son maximum dans le plan normal au plan moyen du filament.

Les lampes les plus répandues sont celles de 8, 10, 16 et 32 bougies ; mais il existe des lampes de 2 à 3 bougies et des lampes de 50 à 1.500 bougies ; cependant, pour ces dernières, il est préférable de recourir aux arcs.

Tout système de lampe à incandescence comporte deux parties : la lampe proprement dite et la monture.

La lampe est constituée par le filament en carbone contenu dans une ampoule en verre vide d'air ; l'ampoule, à son tour, est maintenue dans une pièce spéciale ou culot.

La monture joue un grand rôle : c'est elle qui sert de liaison entre la lampe mobile et le circuit fixe d'alimentation.

Généralement, on la munit d'un interrupteur de courant analogue au robinet des becs de gaz. La durée de la monture est illimitée ; lorsque la lampe est usée, on doit pouvoir la remplacer sans toucher à la monture.

196. Fabrication. — *Préparation des filaments.* — La matière première des filaments a été primitivement du bambou ou du carton que l'on débitait sous forme de lamelles d'épaisseur voulue, réduites ensuite en filaments de section rectangulaire avant d'être calcinées.

Actuellement, le filament est fait avec de la cellulose dissoute, soit :

Papier à cigarettes, paille de riz, coton hydrophile............................	5 grammes
Chlorure de zinc neutralisé..............	100 —
Eau distillée............................	50 —

La liqueur sirupeuse ainsi obtenue est chauffée doucement; elle doit conserver une teinte gris bleu, puis on la passe à la filière d'où elle sort sous forme de fils bleus qui tombent dans de l'alcool méthylique à 90°. Après dessiccation, ils ont l'apparence d'un crin de cheval.

Les filaments ainsi obtenus sont très homogènes. Toutefois, pour les gros filaments, on préfère adopter une pâte analogue à celle des crayons des lampes à arc. La longueur et la section circulaire dépendent, le plus souvent, de l'intensité lumineuse à obtenir, la résistance pour un courant déterminé étant proportionnelle à la longueur et inversement proportionnelle à la section. Le filament d'une lampe de 10 bougies a $0^{mm},05$ de diamètre et pèse $0^{gr},0014$.

Le filament est ensuite relié à deux fils de nickel. Pour souder le filament aux fils de nickel, on utilise la propriété qu'a un hydrocarbure liquide, comme le pétrole, de se décomposer au contact du fil incandescent. La machine à souder comporte un réservoir plein de pétrole dont le couvercle est muni intérieurement de petites mâchoires servant à pincer les extrémités du filament et du nickel, et extérieurement de deux contacts en cuivre rouge pour le passage du courant.

On dépose ensuite, à la surface du filament, la couche de graphite extérieure en décomposant une huile minérale ou d'autres carbures. Il suffit pour cela de plonger les filaments dans le liquide au-dessus duquel on fait le vide et

de faire passer un courant; il y a électrolyse, et le carbone se précipite aux points faibles où l'échauffement est plus considérable. Le fil atteint ainsi une section et, par suite, une résistance uniformes. Avec les filaments filés, l'homogénéité est suffisante, et cette opération n'est pas indispensable ; on conserve cependant la carburation, à cause de la qualité du graphite déposé, qui forme une enveloppe plus dense, moins vaporisable et plus résistante.

L'appareil pour la carburation se compose d'une cloche en verre reposant sur une plaque en caoutchouc. A l'intérieur, on a un ou deux filaments montés sur des pinces reliées à un circuit électrique. Un robinet à trois voies permet de faire communiquer la cloche avec une pompe pneumatique ou avec un réservoir à gazoline; un second robinet la met en relation avec l'air extérieur. On fait passer le courant jusqu'à ce que le fil ait un diamètre déterminé, ce qui se fait automatiquement, car, dès que la résistance du fil a atteint la valeur voulue, elle modifie celle d'un électro qui coupe le circuit.

Montage (*fig.* 204). — Le filament courbé en fer à cheval ou en boucle, monté sur ses deux supports en nickel, est ensuite

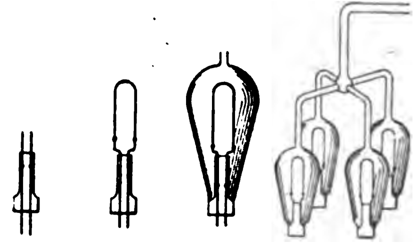


Fig. 204. — Montage du filament.

soudé à deux fils de platine introduits dans un tube en cristal (ou *queusot*) et prolongés par deux fils de cuivre. On emploie le platine parce qu'il a le même coefficient de dilatation que le verre; il en résulte qu'il n'y a aucune solution de continuité entre les deux. On a essayé de remplacer le platine par un autre métal, nickel, ou un alliage, ferro-nickel,

moins coûteux; les résultats n'ont pas été satisfaisants. Les fils de platine doivent être suffisamment longs (12 millimètres) pour éloigner du verre la partie incandescente.

Le support du filament, c'est-à-dire le queusot, est soudé au chalumeau à l'ampoule en verre obtenue mécaniquement. A la partie supérieure de cette dernière, est aménagé un petit tube permettant d'aspirer l'air au moyen d'une pompe à vide ou d'introduire des gaz s'il y a lieu.

Vide. — Généralement on monte plusieurs lampes ensemble sur le même tube de manière à faire le vide dans plusieurs ampoules à la fois. On commence par faire le vide avec des pompes mécaniques à piston ordinaire, puis aveo des pompes à mercure. Il suffit d'examiner la figure 205 pour se rendre compte du fonctionnement d'une de ces pompes à mercure : sur la chambre B, on monte l'ampoule, et, par le tube *a*, on y fait le vide partiel avec la pompe mécanique qui aspire également l'air des chambres *n* et E, par les tubes *l* correspondants, ou avec la pompe à mercure *d*. Lorsqu'on a atteint le vide suffisant, on ferme les communications avec la pompe mécanique et on envoie par G le mercure provenant d'un réservoir supérieur. Le mercure en tombant sur une plaque s'étale en abandonnant l'air qu'il peut contenir, puis descend dans la chambre *n* pour arriver en B, d'où il tombe dans les tubes T en larges gouttes qui forment pistons et entraînent l'air qui passe dans E, tandis que le mercure tombe dans le tube D, d'où il est repris mécaniquement par une pompe pour être remonté au réservoir supérieur. Quand

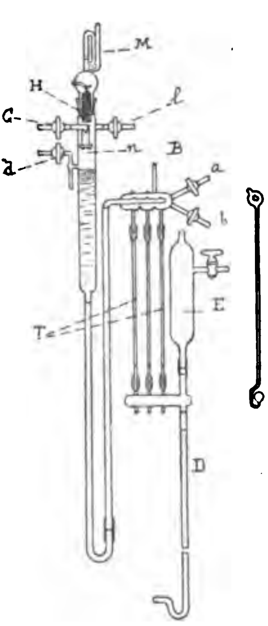


Fig. 205. — Pompe à mercure.

on obtient un vide suffisant, 1 ou 2/10 de millimètre, indiqué par le manomètre M, on fait passer un courant dans le fil de l'ampoule tout en continuant à faire le vide, et le gaz occlus sort ainsi évacué par E. On arrête ensuite la pompe à mercure, on envoie par *b* de l'acétylène, par exemple, qu'on raréfie ; puis, en faisant passer le courant, les traces de ce gaz se décomposent, le reste d'oxygène est absorbé par l'hydrogène et le carbone se dépose à l'état naissant. Le réservoir à mercure *n* est fermé, avec un joint au mercure H, par un bouchon portant le manomètre M et une capsule contenant un desséchant comme de l'acide phosphorique. On arrive ainsi à pousser le vide au delà d'un millionième d'atmosphère.

Dans le procédé Malignani, le vide par la pompe à mercure est remplacé par une action chimique obtenue en introduisant, au préalable, dans le tube qui surmonte l'ampoule, une pâte liquide à base de phosphore et d'iode rouge. Après avoir fait, avec la pompe, un vide partiel à 17 millimètres de mercure, on introduit lentement une vapeur d'hydrocarbure dans l'ampoule, et on remet la pompe en marche. On fait ensuite passer un courant dans le filament, tout en chauffant l'ampoule extérieurement au moyen d'un chalumeau à gaz. A un certain moment, il se forme, à l'extrémité positive du filament près de la pince, une effluve bleue qui se déplace et finit, au fur et à mesure que le vide augmente, par se répandre dans toute l'ampoule, puis par disparaître ; le vide est alors absolu, on soude l'ampoule. On opère sur une seule lampe, mais très rapidement, 2 minutes au lieu de 10 à 15 minutes comme dans les autres procédés ; un autre avantage est l'essai même de la lampe, pendant sa fabrication, à des tensions supérieures au voltage normal.

Culot. — La lampe ainsi préparée est complète ; il ne reste plus qu'à la monter sur son support ou culot formé par une sorte de virole en laiton. On remplit le culot de plâtre et on y fait pénétrer la lampe en plaçant convenablement les fils conducteurs en cuivre qui la prolongent. Il ne reste plus qu'à les couper et à les souder aux contacts du culot avant de nettoyer le tout à la meule à émeri. Le scellement au plâtre est assez souvent défectueux ; de plus, c'est une matière hygro-

métrique ; on la réduit au minimum, et on la supprime même entre les conducteurs pour empêcher l'électrolyse et les courts-circuits. Afin d'éviter ces inconvénients, M. Hollub remplace le culot par un prolongement en verre muni de deux saillies où aboutissent les conducteurs ; l'ensemble est enfermé dans une gaine en laiton qui constitue le support de la lampe. On a imaginé d'autres dispositifs mais leur complication les a fait abandonner.

Montures. — Il n'y a que deux genres de montures employés d'une manière courante : celle à vis d'Edison (*fig.* 206) et celle à baïonnette de Swan (*fig.* 207). Dans la monture Edison, le culot de la lampe doit être fileté extérieurement, de manière à pouvoir se visser sur la monture taraudée à l'intérieur. Le courant est amené par deux conducteurs aboutissant l'un à la partie filetée, l'autre à un contact noyé dans le plâtre.

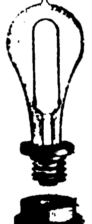




Fig. 206. Lampe Edison.

Dans la monture à baïonnette, le culot de la lampe présente deux taquets qui viennent se loger dans les encoches correspondantes ménagées sur la monture (*fig.* 207). Pour assurer la continuation électrique du courant, les fils conducteurs de la douille viennent aboutir à deux contacts mobiles renfermés dans une cavité. Deux ressorts correspondants appuient ces contacts contre ceux fixes du culot.

Quelques lampes de petit modèle n'ont pas de culot ; les fils conducteurs de la lampe se terminent extérieurement par deux anneaux (Swan, Oesen) et ceux de la monture par deux crochets ; il suffit de les relier les uns aux autres ; le contact est assuré au moyen d'un ressort intercalé entre la lampe et la monture. Ce système est peu répandu.

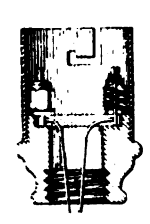


Fig. 207. Monture à baïonnette.

197. Lampes diverses. — *Lampes ordinaires et à bas voltage.* — Il existe un grand nombre de lampes à incandescence, mais elle ne diffèrent entre elles que par le mode de fabrication du filament et sa dis-

position à l'intérieur de l'ampoule. Quelques lampes sont à deux filaments pouvant fonctionner simultanément ou successivement de manière à pouvoir augmenter soit la puissance lumineuse, soit la durée; mais la grande différence porte surtout sur la tension aux bornes que les filaments peuvent supporter sans inconvénient.

L'énergie *ei*, et, par suite, la lumière obtenue, peut être absorbée de deux façons, à forte intensité et à faible voltage ou inversement; de là deux sortes de lampes : à bas voltage et à haute tension. Ordinairement les lampes sont établies pour des voltages de 110 volts, qui est la tension la plus généralement établie pour la distribution du courant; mais, si on veut obtenir avec ce voltage des intensités inférieures à 8 bougies, la fabrication est très difficile, sinon irréalisable. On tourne la difficulté, comme l'a proposé M. Weissmann, en ramenant la tension à 20 volts au moyen d'un transformateur de volume très réduit et de rendement très élevé parce qu'il marche toujours à pleine charge. On peut alors avoir des lampes de 1 à 2 bougies; mais le système est encore avantageux avec les lampes d'intensité supérieure, car il permet d'employer des filaments à fort diamètre, c'est-à-dire avec un revêtement en graphite plus fort et ayant par suite les avantages de ce genre de filament. La lumière obtenue est blanche; de plus, la lampe peut résister à des variations de courant plus importantes sans changer de couleur.

Lampes à haut voltage. — La distribution à 110 volts nécessitant des conducteurs assez importants, on cherche à augmenter la tension et à la porter à 220 volts; dans ces conditions, les lampes à incandescence doivent avoir leur voltage augmenté et porté à 220 volts, car le système qui consiste à avoir deux filaments en tension ou deux lampes en série est une complication. Dans ce but, il faut augmenter la résistance; le filament est allongé; mais comme, d'autre part, la section se trouve forcément accrue, l'allongement doit être exagéré. On donne au revêtement en graphite le moins d'épaisseur possible; mais il forme encore une couche supérieure à celle des lampes à 110 volts. Pour ces divers motifs, le filament long et ténu n'est pas très solide; de plus, du fait de sa

masse très friable, il ne peut plus guère résister aux variations de la tension. Il en résulte une fabrication difficile et une durée assez précaire.

Il est préférable pour les hautes tensions d'adopter des lampes spéciales se montant en série, comme la lampe *Bernstein* (*fig.* 208), par exemple, dont le filament est maintenu par deux supports métalliques ; lorsque le filament ou l'ampoule casse, les deux supports se rapprochent, permettant le passage direct du courant. La douille est établie de manière qu'on puisse ouvrir le commutateur de la lampe sans danger. Comme il est indispensable que le voltage reste constant aux bornes du circuit dans l'usine, on monte 4 à 6 lampes que l'on allume ou qu'on éteint suivant que le voltage baisse ou s'élève.

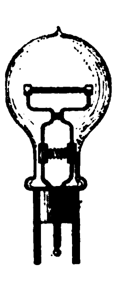


Fig. 208. Lampe Bernstein.

198. Rendement. — Durée. — La consommation spécifique, c'est-à-dire le rendement lui-même, est en moyenne de 3^{watts},5 par bougie décimale, évaluée suivant l'intensité maxima horizontale. Elle varie cependant avec l'importance de la lampe, sa durée et le régime de fonctionnement. On a préconisé pendant quelque temps les chiffres suivants :

100	watts	pour une lampe de	32	bougies,	soit	3^{w},1
50	—	—	16	—	—	3 ,1
35	—	—	10	—	—	3 ,5
22	—	—	5	—	—	4 ,4
8,38	—	—	2	—	—	4 ,19

Le rendement diminue donc avec la puissance lumineuse. En ce qui concerne la variation du rendement avec la durée, des expériences démontrent que la consommation d'énergie va en s'abaissant légèrement; mais, comme la lampe fournit moins de lumière, sa consommation spécifique augmente notablement. C'est ainsi qu'une lampe dite de 16 bougies donne :

0 heure	18^{b},5, soit	3^{w},1
50 heures	17 ,5	3 ,27
100 —	16	3 ,53
400 —	15 ,8	3 ,70

Ces chiffres n'ont rien d'absolu, car d'autres essais ont montré que des lampes, après 1.000 heures de fonctionnement, n'avaient perdu que 1 0/0 et d'autres 27 0/0 de leur puissance. La diminution de rendement avec l'usure des lampes est due, en partie, au noircissement de l'ampoule. L'origine de ce noircissement n'a jamais été bien définie ; on l'attribue au mercure provenant des pompes à vide ou à la dissociation de l'oxyde de carbone, qui se forme à la suite de la combustion du filament par le peu d'air qui a pu rester dans l'ampoule.

On peut augmenter le rendement des lampes en les poussant, c'est-à-dire en leur fournissant une tension supérieure à leur voltage normal. Pour un accroissement de 1 volt ou 2, la lumière passe du rouge sombre au blanc et la consommation spécifique de 3^{watts},5 à 2^{watts},1 par bougie ; la durée est de 500 heures en moyenne, tandis que la même lampe consommant 4^{watts},5 par bougie atteint 1.400 heures. Des expériences directes (Siemens) ont démontré qu'une lampe à

1,5 watt par bougie durait			....	30 heures
2	—	—	....	200 —
2,5	—	—	....	450 —
3	—	—	....	1.000 —

Ces chiffres sont un peu forts, avec 3^{watts},5 en moyenne on arrive à 1.000 heures. La durée des lampes est en effet variable Sur les circuits de secteurs où les changements de tension sont fréquents, le filament se rompt assez rapidement ; sur une distribution à voltage régulier, 96 lampes sur 117 ont duré 1.120 heures. Mais il est de règle de mettre hors service une lampe, lorsque son intensité lumineuse s'est abaissée d'une certaine quantité ; on obtient alors sa *durée utile*. Si, par exemple, on remplace la lampe lorsque son intensité s'est abaissée de 50 0/0, la durée est en moyenne de 1.000 heures ; pour 25 0/0, on n'atteint que 450 heures ; pour 20 0/0, 330 heures, et 10 0/0, 180 heures. Dans beaucoup de contrats, les sociétés s'engagent à remplacer les lampes lorsque l'intensité lumineuse est diminuée de 15 à 20 0/0, soit après 250 heures environ. La grande diminution de rendement ou de durée provient de ce que les lampes ne sont

pas absolument faites pour les circuits qui les alimentent; il y aurait avantage à faire l'inverse, c'est-à-dire établir le circuit pour les lampes adoptées.

On a du reste intérêt, pour diminuer le prix de revient de l'éclairage par incandescence, à ne pas user les lampes jusqu'au bout, ou à les forcer, c'est-à-dire à employer des lampes de 101 à 103 volts sur des circuits à 110 volts; la durée des lampes n'est alors que de 150 heures en moyenne, mais l'énergie électrique est mieux utilisée.

199. Essais des lampes. — Étalonnage. — Pour obtenir des lampes une durée suffisante, la première des conditions est que leur construction soit parfaite au point de vue du vide et de l'homogénéité du filament. On reconnaît que le vide est insuffisant lorsque au bout d'une heure ou deux l'ampoule s'échauffe par suite de la conductibilité du gaz qu'il renferme. On peut encore mettre l'ampoule sur une feuille métallique en communication avec un pôle d'une bobine Ruhmkorff, l'autre pôle est relié à l'un des contacts de la lampe, il se dégage une effluve d'autant plus légère que le vide est parfait. Pour que la durée d'une lampe soit normale, le filament doit avoir partout la même épaisseur, ce que l'on reconnaît en faisant passer un courant très faible, aucune partie ne doit alors être brillante.

Généralement, sur un lot de lampes, on en prélève 1 à 3 0/0 auxquelles on fait subir divers essais variables avec les pays. On peut grouper les lampes à essayer sur un même tableau et faire passer un courant assez faible pour éliminer celles qui sont trop brillantes ou ont des points défectueux. En Angleterre, les lampes essayées sont soumises, pendant un temps très court, il est vrai, deux à trois minutes, à un voltage de 110 à 170 et même 215 volts; les filaments ne doivent pas se rompre; elles sont soumises également à des essais photométriques sous régime normal et la consommation spécifique ne doit pas dépasser une valeur donnée. En Allemagne, on fait également les essais photométriques et on admet des tolérances, en plus ou en moins, de 2 0/0 pour le voltage et de 6 0/0 pour la consommation spécifique et l'intensité lumineuse; la durée utile, qui correspond à une perte de 20 0/0 sur

l'intensité lumineuse, doit être fixée à l'avance; les réclamations sur les fournitures défectueuses doivent être adressées dans un délai de trente jours.

L'étalonnage des lampes, c'est-à-dire l'indication de leur puissance lumineuse, doit être bien précisé. En France, on mesure l'intensité suivant la perpendiculaire horizontale au plan de la boucle. En Amérique, on mesure l'intensité suivant cette normale, plus l'intensité sphérique obtenue en faisant tourner la lampe autour de son axe incliné à 45°.

§ 2. — Lampes a incandescence a substances diverses

200. Principe. — Dès l'origine de la lumière électrique, on avait cherché à utiliser pour l'éclairage à incandescence d'autres substances que le carbone. La question, restée un moment dans l'oubli, a été reprise depuis l'apparition du bec Auer. Il s'agit surtout d'obtenir un meilleur rendement que celui des lampes à filament de carbone, dans lesquelles une partie seulement de l'énergie électrique est transformée en rayons lumineux, le reste se perdant en chaleur inutile.

Le nombre des matières répondant à la question est actuellement assez considérable; il suffit qu'elles offrent une résistance électrique assez élevée et qu'elles puissent se conserver un temps assez long, soit à l'air, soit dans le vide.

Un des procédés, essayé très fréquemment, mais sans grand succès, du reste, consiste à ajouter au carbone ordinaire des corps réfractaires comme du bore, du silicium, des oxydes des terres rares, etc., qu'on mélange soit à la pâte qui donne le filament, soit par application sur une âme en carbone. Le filament ainsi obtenu doit être utilisé dans l'ampoule où l'on fait le vide (lampes au carborundum, etc.).

On se sert également de corps infusibies, comme certains carbures de bore, de silicium, de calcium ou des métaux de la série du platine préparés dans certaines conditions (lampe Auer). Le nombre des métaux que l'on peut utiliser est assez restreint, car il faut qu'ils puissent supporter une température élevée sans se modifier.

Enfin, on a imaginé de se servir des oxydes des terres rares

pour obtenir des filaments incandescents analogues aux manchons des becs Auer. Ces composés, isolants à la température ordinaire, ont la propriété de devenir conducteurs de l'électricité entre 500 et 700°; la conductibilité spécifique atteint 0,003 vers 600°, 0,0064 à 800°, 0,036 à 1.000° et 0,099 à 1.100°, c'est-à-dire qu'elle est à cette température 30 fois supérieure à celle à 600°. Ces substances, comme on l'a vu déjà, ont un pouvoir rayonnant plus favorable que les corps noirs à la même température (1.650°). Grâce à un pouvoir émissif voisin de l'unité pour les radiations bleue, verte et jaune et bien plus faible pour les radiations rouges et calorifiques (Le Chatelier), l'énergie rayonnée par unité de surface est moins élevée que celle du carbone, mais sa composition est meilleure. Ce procédé a donné lieu à des lampes à rendement élevé, dont le type est la lampe Nernst.

201. Lampes à filament en oxydes. — Lampe Nernst. — *Principe.* — Cette lampe est caractérisée par l'emploi d'un conducteur électrolytique comme filament lumineux. La différence essentielle entre les conducteurs métalliques et les conducteurs électrolytiques consiste en ce que, pour les premiers, la résistance augmente avec la température, tandis que, pour les seconds, elle diminue.

Tandis qu'un fil de platine est sensiblement meilleur conducteur à la température ordinaire qu'au rouge, un filament Nernst ne le devient qu'à ce degré de chaleur.

Les filaments Nernst sont constitués par des oxydes de zirconium, de thorium et d'autres terres rares et opposent, à froid, une si grande résistance au courant électrique qu'on peut les considérer pratiquement comme de parfaits isolants. Le filament Nernst ne se laisse traverser sensiblement par un courant qu'au-dessus de 600° ; il nécessite donc un dispositif de chauffage qui le porte au rouge et le prépare ainsi à son rôle de corps lumineux.

Dans le début, le chauffage de ce filament avait lieu au moyen d'une lampe à alcool. Cette sujétion a maintenant disparu, le chauffage étant réalisé automatiquement par le courant électrique.

Le dispositif de chauffage absorbe naturellement une cer-

taine quantité d'énergie qu'il convient de réduire au minimum. A cet effet, un interrupteur automatique coupe le courant dans l'appareil de chauffage aussitôt que le filament est devenu lumineux.

Le tableau ci-après indique le rapport entre la résistance des filaments Nernst et la température ou, ce qui revient au même, la puissance en watts consommée par ces filaments.

PUISSANCE EN WATTS	VOLTS	AMPÈRES	OHMS
100	192	0,52	360
150	198	0.76	260
200	199	1,00	199
250	198	1,2	165
275	195	1,4	140
300	192	1,6	123

Ces résultats montrent que, si le courant augmente dans le filament, la tension aux bornes va d'abord en s'élevant, puis elle reste constante, enfin elle diminue. Pratiquement on la fait fonctionner dans la zone de tension constante. Les augmentations de voltage, qui sont fréquentes dans la pratique, ont pour effet d'accroître l'intensité du courant traversant le filament, ce qui le met hors d'usage. Pour le préserver contre les écarts de voltage accidentels, on met en tension avec lui une résistance susceptible de compenser ces écarts.

Une lampe Nernst comprend dès lors les éléments ci-après :

Le filament lumineux;

L'appareil de chauffage;

L'interrupteur de courant de chauffage;

La résistance auxiliaire.

Ces lampes sont actuellement construites suivant deux modèles.

Modèle A (*fig.* 209 et 210). — Le filament *f* et la spirale de chauffage *z* sont adaptés à un disque en porcelaine O pourvu

de trois pièces de contact constituées par deux tubes *n*, *p*, et par une pièce en forme de chape renversée *o* munie d'une vis de serrage *i*.

Ces pièces de contact sont assemblées aux tiges métalliques K, L, M de la partie supérieure de l'ensemble de la lampe, les deux tubes *n* et *p* servant de logement aux tiges cylindriques K, M, et la chape *o*, à la lamelle L, qui s'insère entre ces deux tiges. La vis de serrage assure la fixité de cette dernière liaison.

L'*appareil de chauffage* se compose d'une spirale en porcelaine *z* sur laquelle est enroulé un fil de platine très fin. L'interruption du courant de chauffage est obtenue par l'électro-aimant *s*.

La *résistance r*, destinée à protéger le filament contre les variations de voltage, est constituée par un fil de fer très mince enfermé dans une ampoule de verre V remplie d'hydrogène destiné à empêcher l'oxydation.

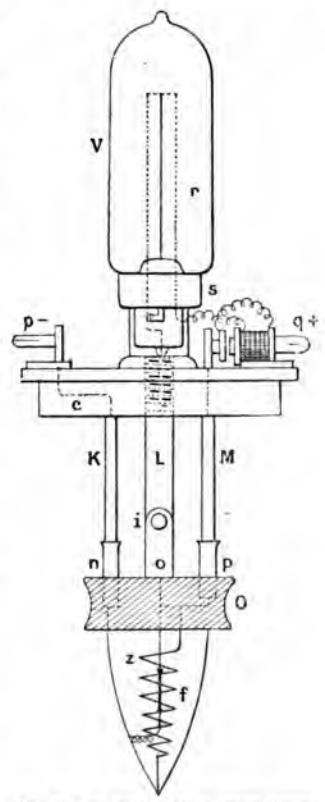


Fig. 209. — Schéma de la lampe Nernst (Modèle A).

Le choix du fer s'explique parce que de tous les métaux c'est celui dont la conductibilité électrique diminue le plus vite avec la température; il est dès lors plus apte à compenser la variation inverse de la conductibilité du filament Nernst. Cette résistance est adaptée à la lampe par une douille à baïonnette ordinaire.

Le fonctionnement de la lampe donne lieu aux phases suivantes :

Le courant, amené par la borne positive q, passe dans la lame à ressort de l'électro-aimant s, traverse, par la tige

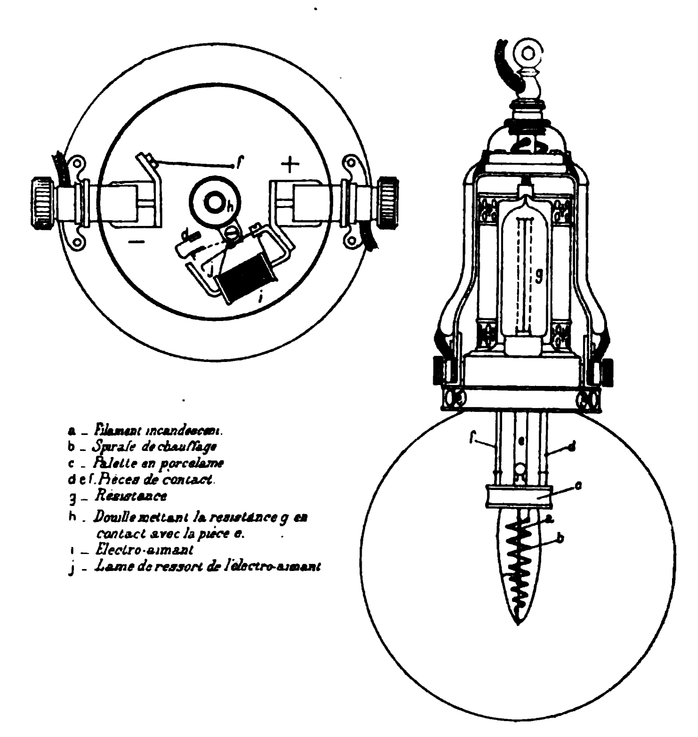


Fig. 210. — Ensemble de la lampe Nernst.

cylindrique M, la spirale de chauffage z et passe par le cylindre K et le conducteur c à la borne négative p. Le circuit ainsi fermé échauffe la spirale, qui devient rouge. Après vingt-cinq à trente secondes, le filament ayant atteint la température à partir de laquelle il devient conducteur, le circuit va alors de la borne positive dans la bobine de l'électro-aimant s, puis dans la résistance r, dans la lamelle L et la

chape *o*, et enfin dans le filament, pour aboutir à la borne négative en passant par *n*KC.

Dès que le courant qui traverse l'enroulement de l'électro et le filament a atteint l'intensité suffisante, le contact à ressort de l'électro est attiré par l'aimant et le courant de chauffage est coupé en *s*.

La lampe qui vient d'être décrite est réservée aux fortes intensités; elle est généralement destinée à être suspendue à la façon d'un régulateur; la figure 210 donne l'aspect général de l'appareil avec le globe protecteur de la lampe.

Lampe B. — Cette lampe, étudiée pour les faibles intensités, s'adapte sur des douilles à baïonnette ou à vis comme la lampe à incandescence ordinaire. Le schéma en est indiqué (*fig.* 211). Le courant est amené aux deux contacts + et —, passe dans la lame de l'électro, traverse la broche *p*, la spirale de chauffage *z* et revient au contact — par la broche *n*. Dès que le filament *f* devient conducteur, le courant passe dans la bobine de l'électro *e*, dans la résistance *r*, dans le filament *f* et revient par la broche *n* au contact négatif, tandis que le courant de chauffage est coupé en *s*.

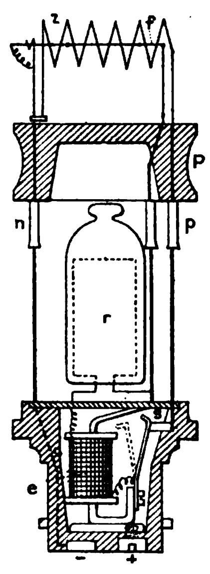


Fig. 211. — Lampe Nernst (Modèle B).

Les lampes Nernst sont actuellement construites pour des intensités de courant de 1/4, 1/2 et 1 ampère et pour des tensions variant de 100 à 150 volts et de 200 à 250 volts.

Le tableau ci-après, emprunté à une notice de la Société française d'Électricité qui exploite cet appareil, résume les résultats photométriques obtenus avec des lampes Nernst actuellement employées dans l'industrie.

INTENSITÉ du courant EN AMPÈRES	POUR LAMPES de 110 à 115 VOLTS	POUR LAMPES de 125 à 130 VOLTS	POUR LAMPES de 220 à 225 VOLTS	POUR LAMPES de 245 à 250 VOLTS
	bougies décimales	bougies décimales	bougies décimales	bougies décimales
0,25	16	20	36	42
0,50	32	42	79	59
1,00	68	84	138	176

La consommation spécifique serait ainsi de 1,40 à 1,8 watt par bougie-heure.

Lampe Fessenden (*fig.* 212). — Le crayon a subi une première modification; les extrémités contiennent du chlorure de magnésium ou un mélange d'oxyde de thorium et de magnésium, ce qui les rend plus conductrices. Les pinces en platine qui maintiennent le crayon sont remplacées par des électrodes en nickel ou même en ferro-nickel. Ces dispositifs ont surtout pour but de préserver les électrodes de la grande chaleur du filament.

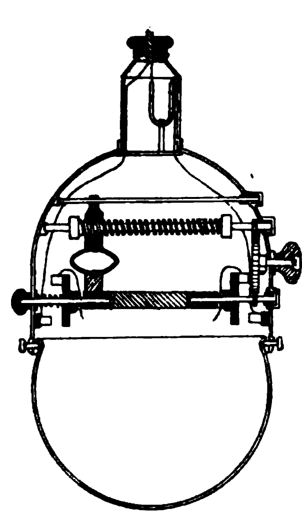


Fig. 212. — Lampe Fessenden.

Quant à l'appareil d'allumage, il est constitué par une petite plaque en graphite qu'on déplace au-dessus du crayon. Il suffit pour cela de tourner une poignée extérieure à la lampe : au moyen d'une vis, on fait avancer la plaque de graphite en même temps que le crayon reçoit un mouvement de rotation. Grâce au graphite déposé, l'allumage s'effectue très vite. On peut encore faire l'allumage en plaçant, à l'intérieur du crayon, une mèche en peroxyde de manganèse, meilleure conductrice du courant à basse température et, par contre, moins conductrice

à température élevée, faisant ainsi compensation au crayon.

Enfin, dans le haut de la lampe, se trouve disposé un régulateur en plomb, en série avec la baguette. Le plomb est enfermé dans un tube en verre, de sorte que, s'il vient à se ramollir, sa résistance augmente de beaucoup.

Il existe un nombre considérable de lampes analogues, ne différant les unes des autres que par la manière d'effectuer l'allumage ; mais, jusqu'à présent, aucune d'elles ne semble avoir résolu complètement le problème.

202. Lampes à filament métallique. — *Lampe Auer.* — On avait, au début de l'éclairage électrique par incandescence, essayé les filaments de platine, mais leur peu de solidité les fit abandonner. Le Dr Auer von Welsbach a repris la question et s'est préoccupé de trouver un corps capable de résister aux très hautes températures, et particulièrement propre à la lumière.

L'*osmium* est de tous les métaux celui qui a paru résoudre le plus convenablement le problème. Ce métal se trouve presque toujours combiné à l'iridium; sa densité est 22,5, son point de fusion est particulièrement élevé (2 750°). La difficulté pratique réside dans la préparation du filament d'osmium. Ce métal ne se présentait, jusqu'à ces derniers temps, que sous l'aspect d'une poudre cristalline spongieuse, ou sous la forme d'un résidu cassant et dur que l'on observait dans l'arc après la fusion. Auer est arrivé à en former des filaments conducteurs. La poudre grise d'osmium a été réduite en une masse pâteuse, avec laquelle sont constitués des filaments très fins sous une pression très élevée. La réduction du filament en osmium métallique est obtenue, sous l'action du courant électrique, dans un vase spécial rempli de gaz d'éclairage.

Le courant traverse le filament, qui devient incandescent et se contracte progressivement. Le filament ainsi préparé est placé dans une ampoule analogue à celles des lampes à incandescence ordinaires.

Les lampes Auer sont à bas voltage. Pour utiliser les différences de potentiel des distributions actuelles, qui généralement sont à 110 volts, il est nécessaire d'en coupler plusieurs en tension, 3 ou 4, chacune d'elles ayant au besoin une

intensité égale au tiers ou au quart de l'intensité lumineuse nécessaire.

Les lampes Auer ont une constance d'éclat très marquée. Des expérience sont prouvé qu'une lampe fournissant 16,8 bougies au début donnait 16,5 après 200 heures, 14 après 850 heures et 13,5 après 1.100 heures : or une lampe à filament de charbon présente toujours une diminution d'intensité beaucoup plus importante ; c'est ainsi qu'une lampe donnant 20 bougies à l'allumage ne donne généralement que 16 bougies après 200 heures et 9 bougies après 1.100 heures. La consommation spécifique des lampes Auer est de 1watt,5 par bougie.

Ces lampes se montent comme les lampes ordinaires avec dispositif à baïonnette ou à vis.

203. Lampes diverses. — En plus des systèmes précédents, il existe un très grand nombre de lampes à incandescence. On a tout d'abord essayé d'ajouter au filament en carbone des matières susceptibles d'en augmenter le pouvoir éclairant. Dans le filament dit *Premier*, la cellulose dissoute est additionnée de poudre de bore, de silicium. Le mélange ainsi obtenu est d'abord filé, puis calciné au four électrique. Avec le filament *Maxime*, la préparation est toute différente : on obtient, par cristallisation, un carbone pur, très dur, très réfractaire et d'une résistance électrique élevée bien différente du carbone ordinaire. Dans ces deux systèmes, le filament contenant du carbone doit être utilisé à l'abri de l'air, c'est-à-dire dans l'ampoule à vide ordinaire, qui, d'après les essais, ne noircirait que lentement. Le rendement de ces lampes serait très élevé ; mais, jusqu'à présent, elles n'ont donné lieu à aucune application importante.

On a tenté également d'appliquer les oxydes de terres rares à l'incandescence sous forme de filament, soit qu'on les dépose électrochimiquement (Langhauss) ou par tissu imprégné (Thowley) sur une âme en carbone, soit qu'on les mélange à la pâte. Mais, par suite du peu d'homogénéité des corps en contact, de leur différence de dilatation aux températures élevées, le filament se désagrège, souvent même le carbone brûle.

On a essayé de remplacer l'âme en carbone par un fil métallique. Dans les lampes dites aux nitrates, sur un fil métallique en chrome ou manganèse, on dispose un tissu léger en coton, qu'on trempe dans une solution de nitrates des métaux rares; après la combustion de la cellulose du tissu, les matières se déposent à l'état d'oxydes sur le fil; ce système ne semble pas avoir réussi. Le Dr Auer a essayé d'entourer de thorine, par nourrissage, un fil d'un alliage de platine, d'osmium et de ruthénium; l'enveloppe permet d'élever la température du fil métallique, dont la chaleur se transmet à l'enveloppe qui donne une lumière blanche très intense; la lampe dure tant que le fil métallique n'est pas fondu. L'inconvénient réside dans le prix de fabrication et la grande volatilité de l'alliage.

Enfin, on emploie pour remplacer le filament au carbone, à qui on reproche sa volatilisation facile et sa grande conductibilité, quelques matières spéciales, en particulier le carborundum, qui n'est autre qu'un mélange de carbures de bore, de silicium, d'aluminium; mais cette matière est encore plus volatile et noircit rapidement l'ampoule. Le carborundum s'obtient facilement en filaments élastiques et homogènes.

204. Rendement. — Le rendement des différentes lampes précédentes semblerait assez avantageux, si ce n'était les inconvénients inhérents aux différents systèmes. Dans le cas de la lampe Nernst, ce rendement varie avec l'intensité et la durée du service. Pour une lampe de 25 bougies, il serait de 1watt,75 par bougie, et de 1 watt pour une de 100; mais ces chiffres seraient trop élevés, et M. Eric Gérard donne pour une lampe Nernst de 10 bougies : à l'allumage, 2watts,82, et, au bout de 100 heures, 3watts,72. A 100 heures, le mécanisme d'allumage cesse de fonctionner. Ces consommations semblent un peu fortes, peut-être à cause du peu d'intensité de la lampe, de même que la durée, qui est plus élevée, 300 heures en moyenne. On a obtenu à l'Exposition de Paris 1watt,7.

La lampe Auer à filament en thorine, à âme en platine et osmium, grâce à sa haute température, aurait atteint un

rendement assez élevé, 1^{watt},5 à 2 watts par bougie; mais ce rendement n'est obtenu qu'au détriment de la lampe, dont la durée est alors très courte.

La lampe Auer à filament en osmium donne 1^{watt},5 par bougie Hefner et sa durée est de 700 à 1.200 heures.

CHAPITRE XII

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

§ 1. — Calcul des conducteurs

205. Formules fondamentales. — Les trois facteurs, force électromotrice E, intensité I et résistance R, qui interviennent dans le passage du courant dans un conducteur, sont reliés par la formule fondamentale très simple

$$E = RI.$$

Comme, d'autre part, pour un métal donné, la résistance R en fonction de la résistance spécifique ρ, de la longueur l et de la section s est donnée par la relation

$$R = \rho \times \frac{l}{s}. \qquad (1)$$

on aura :

$$E = \rho \times \frac{lI}{s}. \qquad (2)$$

La valeur ρ n'est pas constante; elle varie avec la température ; si ρ_0 est la résistance à la température à 0°, on a :

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t).$$

Le tableau suivant donne les valeurs de ρ_0 et de α.

MÉTAUX	RÉSISTANCE spécifique à 0° en microhms-centimètres	COEFFICIENT α	DENSITÉ	RÉSISTANCE à la rupture PAR MILLIMÈTRE
Argent	1,500	0,0038	10,20	
Cuivre pur.......	1,593	0,00388	8	26,7
Cuivre de conducteurs............	1,534	0,004	8 à 9	26,7
Bronzes divers...	1,6 à 5	0,00152	8,9	70 à 100
Aluminium	2,874	0,00388	2,60	20,3
Nickel...........	6,935	0,00622	»	70
Fer..............	9,693	0,0063	7,8	»
Ferro-nickel.....	78,300	0,00090	8,34	80
Maillechort	20,890	0,000443	»	»
Mercure	94,073	0,000907	13,60	

Avec ces diverses données, on peut résoudre les différents problèmes de calcul des conducteurs. Il est bon de remarquer toutefois que, la formule (2) étant d'un usage très fréquent, on adopte, pour les diverses valeurs, des unités différentes :

E est exprimée en volts;
I — en ampères;
s — en millimètres carrés;
l — en mètres;
ρ est une fraction égale à 10^{-2} de la valeur indiquée au tableau ci-dessus.

206. Canalisations ouvertes. — *Câbles simples.* — Sous l'action du courant, les conducteurs s'échauffent, mais il est indispensable que cet échauffement ne dépasse pas une certaine limite. Si, d'autre part, on considère que les appareils doivent marcher à une tension bien déterminée et que l'installation doit se faire le plus économiquement possible, on aura les trois conditions suivantes : échauffement limite installation économique et tension déterminée, auxquelles devraient satisfaire tous les conducteurs; mais, comme elles ne peuvent exister simultanément, on donne la préférence à l'une d'elles, suivant le cas.

A. L'échauffement d'un conducteur étant proportionnel à RI^2, c'est-à-dire au produit de la résistance par le carré de l'intensité, pour l'empêcher de prendre une valeur exagérée, il faut réduire en conséquence la valeur de R ou de $\frac{\rho \times l}{s}$; la longueur ne pouvant être diminuée, on se trouve amené à donner à s une grandeur suffisante pour ne laisser passer, par unité de surface, qu'une quantité déterminée de courant ou densité $\frac{I}{s}$. La densité adoptée varie naturellement avec le mode d'emploi du conducteur; elle est plus grande pour un fil nu exposé à l'air que pour un câble enfermé et à plus forte raison isolé : de là divers cas résumés dans la formule suivante donnant le diamètre d'un conducteur en fonction de l'intensité. On a :

$$I = Kd\sqrt{d}.$$

I, intensité du courant en ampères; d, diamètre du câble en millimètres, et K, un coefficient que l'on fait égal dans le cas du cuivre à :

$K = 5$	avec des fils	isolés enfermés dans des moulures;
$K = 2,5$	—	souterrains;
$K = 3,8$	—	nus polis dans des endroits clos;
$K = 4,65$	—	nus noircis dans des endroits clos;
$K = 8,72$ à $8,35$	—	nus noircis ou polis à l'air libre.

Dans le cas d'un câble autre que du cuivre, on obtiendra le diamètre D, en partant de celui d du cuivre :

$$D = d\sqrt[3]{\frac{\rho'}{\rho}}.$$

ρ', résistance spécifique du métal; ρ, celle du cuivre.

Au lieu de la formule précédente, on peut, pour la densité, prendre les chiffres fixés par certaines réglementations.

SECTION EN mm^2	BELGIQUE	ALLEMAGNE	FRANCE	OBSERVATIONS
		Fils nus		
	ampères	ampères	ampères	
0,75 à 5	5	4 à 3,75	6	Le plus petit diamètre en Allemagne est de $0^{mm},75$. Pour la Belgique, les chiffres indiqués sont ceux pour les installations dans les mines ; ils sont établis pour supporter une surélévation de 40°.
5 à 10	5	3,75 à 3	»	
10 à 50	4	3 à 2	»	
50 à 150	3	2 à 1,53	»	
150 à 300	2,5	1,53 à 1,33	»	
au-dessus de 300	2	1,20	»	
		Fils isolés		
0,75 à 10	3	3	3 à 2	
10 à 20	2,5	2,5 à 3	2	
20 à 50	2	2 à 2,5	2	
au-dessus de 50	1,5	1 à 2	1	

La condition d'échauffement prime toutes les autres ; celle qui vient ensuite est relative à la perte de voltage.

B. Comme on connaît ordinairement la longueur du conducteur, l'intensité du courant à fournir et, presque toujours, la perte de tension dont on peut disposer, tout le problème revient à calculer la section.

Soit, par exemple, à fixer la section d'un câble alimentant 6 lampes à arc en série, de 6 ampères, sur un circuit de 1.000 mètres de longueur. Le voltage absorbé par chaque lampe étant de 45 volts environ, soit 270 pour les 6, le voltage aux bornes devra toujours être supérieur à celui des appareils d'utilisation, de manière à avoir une certaine quantité de la tension absorbée par la ligne ; si on prend 300 volts aux bornes du générateur, la perte de tension dans la ligne sera de 30 volts ; on aura donc en remplaçant les lettres par leur valeur dans la formule (2), ρ étant égal à $1,7 \times 10^{-2}$, c'est-à-dire à 0,017 :

$$s = \frac{\rho \times lI}{E} = \frac{0,017 \times 1.000^{m} \times 6^{a}}{30} = 3^{mm^2},4.$$

Il faut voir, en outre, si la condition de densité est satisfaite ; on a

$$\frac{I}{s} = \frac{6}{3^{mm^2},4} = 1^{a},7,$$

densité admissible, quel que soit le dispositif employé. Dans le cas d'une conduite disposée à l'air libre, il faut vérifier si le diamètre est suffisant pour la tension mécanique adoptée ; il est presque toujours possible de la corriger par l'addition d'un fil de fer dont la conductibilité est moins grande que celle du cuivre et qui, par suite, sera d'un diamètre plus élevé.

C. On peut, dans des installations d'une certaine importance, chercher à avoir la densité la plus économique ou celle pour laquelle on a le minimum d'énergie perdue en fonction du prix de revient de cette énergie et du taux d'amortissement; on a, pour ce dernier cas, la formule de W. Thomson :

$$\frac{I}{s} = \sqrt{\frac{\beta b}{\rho\,(cT + \alpha p)}}.$$

p, le prix de l'usine, et α, son taux d'amortissement par watt; b, le prix du centimètre de ligne, et β, le taux d'amortissement; c, le prix de revient du watt-heure, et T, la durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage. La densité ainsi calculée est ordinairement inférieure à la densité maxima compatible avec l'échauffement. Si on veut, au contraire, rendre la dépense d'installation minima, on prend la formule :

$$\frac{I}{s} = \sqrt{\frac{b}{\rho p}}.$$

Câbles avec branchements. — Le plus souvent les câbles se branchent les uns sur les autres, formant une série de rami-

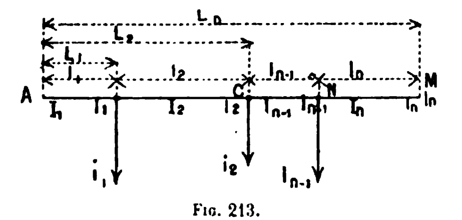


FIG. 213.

fications dont le débit va constamment en diminuant depuis l'origine (*fig.* 213). L'intensité est facile à évaluer dans chacun

des conducteurs : il suffit à chaque branchement d'additionner les courants qui suivent. D'une manière générale, si $i_1, i_2, ..., i_n$ désignent l'intensité de chaque branchement; I_1, I_2, I_n, l'intensité réelle dans chaque conducteur; $e_1, e_2, ..., e_n$, la perte de voltage entre deux dérivations consécutives, on aura :

$$I_1 = i_1 + i_2 + ... i_n \qquad e_1 = I_1 r_1 = r_1 (i_1 + i_2 + ... i_n)$$
$$I_2 = i_2 + ... i_n \qquad e_2 = I_2 r_2 = r_2 (i_2 + ... i_n)$$
$$I_n = i_n \qquad e_n = I_n r_n = r_n i_n$$

Les valeurs $i_1, + i_2, + i_n$ sont connues, ainsi que les longueurs l_1, l_2, l_n des éléments de canalisations ; il reste donc à déterminer $e_1, ..., e_n$, et $s_1, ..., s_n$, sections des conducteurs; or comme on a n équations pour $2n$ inconnues, on est amené à fixer certaines conditions pour déterminer les différentes inconnues.

1° On peut tout d'abord utiliser la condition de la perte de voltage, qui, de l'origine à la dernière lampe, ne doit pas excéder une valeur déterminée, soit 2 0/0 de la tension initiale. Cette limite de perte de tension a pour but de rendre le courant dans chaque appareil d'éclairage indépendant du fonctionnement ou de l'arrêt des autres appareils; on a alors en appelant E cette perte:

$$E = e_1 + e_2 + ... e_n ;$$

on peut donner à e_1, e_2, ..., e_n des valeurs quelconques, pourvu que leur somme ne dépasse pas E ; en particulier, on peut faire $e_1 = e_2 = ... e_n = \frac{E}{n}$; on aura pour le premier élément de canalisation, en remarquant que $2l_1$ est sa longueur totale (aller et retour) :

$$s_1 = \frac{2\rho \times l_1 I_1}{e_1} = \frac{2\rho \times n \times l_1 I_1}{E} ;$$

le second élément sera calculé de la même façon, et ains de suite jusqu'à la fin. Il faudra vérifier ensuite si la condi-

tion de l'échauffement admissible est réalisée dans chaque élément ainsi calculé.

2° Au lieu de faire varier la section d'un branchement au suivant, on peut la conserver constante pour toute la longueur; si E est la perte de tension totale, on a alors :

$$s = \frac{2\rho}{E}[l_1(i_1 + i_2 + \dots i_n) + l_2(i_2 + \dots i_n) + \dots l_n i_n]$$
$$= \frac{2\rho}{E}[i_1 l_1 + i_2(l_1 + l_2) + \dots i_n(l_1 + l_2 + \dots l_n)].$$

Il faudra ensuite vérifier la densité dans la partie du conducteur qui précède le premier branchement; si elle est suffisamment faible, elle le sera sûrement dans les autres, car les valeurs $I_1, \dots, I_2$, vont en décroissant.

Les valeurs $i_n(l_1 + l_2 + l_n), \dots, i_1 l_1$ peuvent être considérées comme les moments de forces représentées par $i_1, \dots, i_n$ par rapport à l'origine A. On peut les remplacer par une force ou intensité unique égale à la résultante $i_1 + i_2 + \dots i_n$ ou I, placée à une distance virtuelle λ de l'origine. On aura alors :

$$s = \frac{2\rho \times \lambda I}{E}.$$

3° On peut poser comme condition d'avoir partout la même densité, c'est-à-dire $\frac{I}{s}$ constant; on aura :

$$\frac{I}{s} = \frac{e_1}{2\rho l_1} = \frac{e_2}{2\rho l_2} = \frac{e_1 + \dots e_n}{2\rho(l_1 + l_2 + \dots l_n)} = \frac{E}{2\rho(l_1 + l_2 \dots l_n)};$$

connaissant la densité $\frac{I}{s}$, il sera facile d'en déduire l'une quelconque des sections. Il convient d'observer que ce mode de calcul amène à avoir la même quantité de cuivre que dans celui à section constante, ce qui serait facile à démontrer.

4° On peut s'imposer la condition d'avoir la plus faible

dépense possible de métal ; on a les relations suivantes en conservant la même notation :

$$s_1 = \frac{\rho}{E} \sqrt{I_1} \, (l_1 \sqrt{I_1} + l_2 \sqrt{I_2} + \ldots \, l_n \sqrt{I_n}),$$

$$s_n = \frac{\rho}{E} \sqrt{I_n} \, (l_1 \sqrt{I_1} + l_2 \sqrt{I_2} \ldots \, l_n \sqrt{I_n}).$$

Si les conducteurs se ramifient comme en N (*fig.* 214), on procède autrement ; c étant la perte de voltage disponible de B à la fin, la perte de voltage de B à N, c', correspondant au minimum de cuivre, sera donnée par :

$$\frac{c'}{c} = \frac{BN}{BN + L}.$$

L étant une *longueur fictive* donnée dans le cas particulier par

$$L = \sqrt{\frac{i_{n-2} l^2_{n-2} + i_{n-1} l^2_{n-1} + i_n l^2_n}{i_{n-2} + i_{n-1} + i_n}}.$$

Connaissant, dans BN, la longueur, la perte de voltage c' et le débit total, il est facile d'en déduire s ; de même pour les ramifications où le voltage est égal à $c - c'$. On en verra l'application (n° 270).

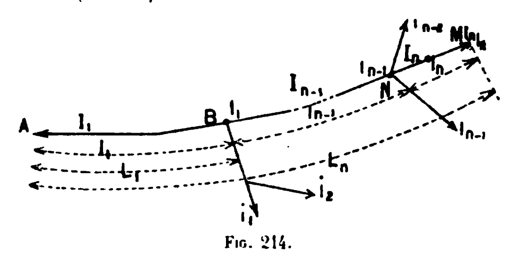


Fig. 214.

Courants alternatifs. — Dans le calcul de ces canalisations entrent des quantités nouvelles : capacité de la ligne, self-induction et courants induits, dont le fait est de modifier la tension, comme si la résistance réelle avait été changée. Il en résulte que, si E est la force électromotrice des appareils d'utilisation, r la résistance ordinaire de la ligne, R la

résistance apparente, i l'intensité à fournir, la section s du conducteur sera égale à $s = \frac{2\rho \times li}{e}$ comme à l'ordinaire, e étant la perte de voltage en ligne ; on aura comme force électromotrice à la génératrice :

$$E_0 = \sqrt{(E + ri)^2 + (Ri)^2}.$$

La valeur de R est égale à $2\pi nl \times L10^{-4}$, dans laquelle n est le nombre de périodes par seconde ou fréquence, l le développement de la ligne en kilomètres, L le coefficient de self-induction qui, dans le cas de câbles parallèles et cylindriques, est égal à $4,6042 \log \frac{D}{d} \times 0,5$, et où D désigne la distance des câbles, d leur diamètre en centimètres. La valeur de L, pour des fils de 1 à 0,1 centimètre de diamètre espacés de 25 à 200 centimètres, oscille entre 0,830 et 1,6, soit 1,200 en moyenne. La résistance R devrait tenir compte de la capacité de la ligne, que l'on néglige dans les calculs. La résistance R n'est qu'apparente, n'amenant, contrairement à la résistance r, aucune dépense d'énergie, mais simplement un décalage entre le courant et la tension initiale, décalage qui est égal à :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{IR}{E_0}.$$

Soit par exemple à alimenter des appareils de 150 ampères et 5.000 volts à 20 kilomètres de distance. Les câbles, de 16 millimètres de diamètre ou 200 millimètres carrés de section, sont espacés de 150 centimètres ; la fréquence est de 45. On a :

$$r = \frac{2 \times \rho \times l}{s} = \frac{2 \times 20.000 \times 0,017}{200} = 3^{\text{ohms}},4 ;$$

$$R = 2\pi nlL \times 10^{-4} = 13 \text{ ohms environ.}$$

d'où :

$$ri = 510 \text{ volts} \quad \text{et} \quad Ri = 1.950 \text{ volts.}$$

Il en résulte que

$$E_0 = \sqrt{(5.000 + 510)^2 + 1.950^2} = 5.844 \text{ volts}$$

et

$$\text{tg } \varphi = \frac{1.950^{v}}{5.844^{v}} = 0{,}33.$$

La perte d'énergie est donc de :

$$510 \times 150^{a} = 76.500 \text{ watts},$$

et celle de voltage

$$5.844 - 5.000 = 844 \text{ volts} ;$$

soit

$$844 - 510 = 334 \text{ volts}$$

pour la résistance supplémentaire due à la self-induction.

Si les appareils d'utilisation avaient eux-mêmes de l'induction décalant le courant par rapport au voltage d'une quantité φ_1, on aurait pour $s = \frac{2\rho \times lt}{e \cos^2 \varphi_1}$, et, pour E_0, le voltage à la génératrice :

$$E_0 = \sqrt{(E + ri \cos \varphi_1 + Ri \sin \varphi_1)^2 + (Ri \cos \varphi_1 - ri \sin \varphi_1)^2}.$$

Soit, par exemple, à alimenter avec les données précédentes des appareils absorbant 80.000 watts avec une induction telle que

$$\cos \varphi_1 = 0{,}86 \text{ et } \sin \varphi_1 = 0{,}5 ;$$

la puissance réelle sera :

$$\frac{86.000}{0{,}86} = 100.000 \text{ watts} ;$$

si le voltage est de 5.000, l'intensité sera :

$$\frac{100.000}{5.000} = 24 \text{ ampères} ;$$

comme la résistance de la ligne est de $3^{\text{ohms}},4$, on aura :

$$ri = 81^{v},6 ; \; R = 13 \text{ ohms, et } RI = 312 \text{ volts}$$

$$E_0 = \sqrt{(5.000 + 81{,}6 \times 0{,}86 + 312 \times 0{,}5)^2 + (312 \times 0{,}86 - 81{,}6 \times 0{,}5)^2} = 5.230 \text{ volts}.$$

Courants polyphasés. — Le calcul revient à celui de câbles parcourus par un courant alternatif, et on a pour la section :

$$s = \frac{2\rho \times li}{e} \qquad \text{ou} \qquad s = \frac{2\rho \times li}{e \cos^2 \varphi_1},$$

suivant que les appareils d'utilisation sont sans induction ou décalent le courant de $\cos \varphi_1$.

1° Dans le cas de courants *biphasés*, c'est-à-dire décalés de 90° à quatre fils (*fig.* 238), on aura au total quatre conducteurs de section s, calculée comme précédemment, en remarquant que i sera la moitié de l'intensité d'une distribution ordinaire à courant monophasé.

Avec la distribution biphasée à trois fils (*fig.* 238), il y a deux cas, suivant le voltage à obtenir entre le fil commun et les fils extrêmes :

a) Si le voltage, entre le fil commun et les fils extrêmes, doit être égal à E, comme dans le cas d'un circuit indépendant, celui entre les fils extrêmes est égal à $E\sqrt{2}$; on a pour s :

$$s = \frac{\rho \times li}{e \cos^2 \varphi_1},$$

et on prend pour la section des fils extrêmes $s' = 0{,}852s$ et pour le fil commun $s'' = s'\sqrt{2} = 1{,}205s$, soit au total $2{,}909s$ au lieu de $4s$ comme précédemment, d'où une économie de 25 0/0.

b) Si, au contraire, on veut maintenir entre les fils extrêmes un voltage égal à E, celui entre le fil commun et les fils extrêmes devient $\frac{E}{\sqrt{2}}$; on a pour s :

$$s = \frac{2\rho \times li}{e \cos^2 \varphi_1}.$$

Les valeurs de s', s'' sont le double des précédentes, soit au total $2 \times 2{,}909s = 5{,}818s$, c'est-à-dire près de 50 0/0 en plus de cuivre que dans le cas de $4s$.

2° Avec les courants *triphasés*, c'est-à-dire décalés de 120°, montés en *triangle* (*fig.* 239), si i est le courant d'utilisation, E le voltage, la puissance, $P = Ei$, se répartit en trois sections ayant chacune une intensité égale à $i/3$. Si on désigne par I l'intensité dans un des fils, on a déjà la relation $I = i\sqrt{3}$; il en résulte que, la perte de puissance dans un fil étant une fraction k de la puissance P, c'est-à-dire

$$\frac{kEi}{3} = \frac{ei}{3} = \frac{eI}{3\sqrt{3}},$$

en réalité, on n'a pas comme perte e, mais $\frac{e}{\sqrt{3}}$; par suite on prendra s :

$$s = \frac{\rho \times lI\sqrt{3}}{3e} = \frac{\rho \times li}{e}.$$

Si le courant est décalé, il n'y aura qu'à diviser s par $\cos^2 \varphi_1$.

Avec le montage en *étoile*, le voltage entre le centre de l'étoile et un des fils étant E_0, la tension entre deux fils est égale à $E_0\sqrt{3}$; comme précédemment, la puissance étant Ei, l'intensité dans une section réceptrice est égale à $i/3$ et l'intensité I dans un fil $= i\sqrt{3}$. Pour la perte de puissance, on aura comme ci-dessus :

$$\frac{kEi}{3} = \frac{ei}{3} = \frac{eI}{3\sqrt{3}},$$

c'est-à-dire un résultat analogue.

Si on ajoute un fil neutre, le voltage entre ce fil et les autres est égal à E_0 et le courant est le même dans chaque fil que celui de chaque section d'utilisation, c'est-à-dire $i/3$; si donc la puissance est égale à $E_0 i$, la perte dans chaque fil est égale à :

$$\frac{kE_0 i}{3} = \frac{ei}{3}.$$

d'où

$$s = \frac{\rho \times li}{3e}.$$

S'il y avait décalage par les appareils d'utilisation, il suffit de diviser s par $\cos^2 \varphi_1$.

Soit, comme application, le calcul des conducteurs d'une distribution triphasée en étoile avec fil neutre, de 400 mètres de longueur, alimentant, sous 100 volts, 50 lampes de 16 bougies ou $0^{amp},6$ et 4 arcs de 8 ampères deux à deux en tension. L'énergie à fournir est de

$$\begin{aligned} 50 \times 0^{a},6 \times 100^{v} &= 3.000^{w} \\ 2 \times 8 \quad \times 100^{v} &= 1.600 \\ \hline P &= 4.600 \end{aligned}$$

d'où on déduit $P = Ei = 4.600 i = 46$ ampères. La différence de voltage entre deux câbles est de $100^{v} \times \sqrt{3} = 173$ volts. Si on perd 7 volts en ligne, on aura pour s :

$$s = \frac{\rho \times li}{3e} = \frac{0.017 \times 400 \times 46^{a}}{3 \times 7} = 15^{mm2}.$$

La différence de voltage aux bornes est égale à $107 \times \sqrt{3} = 186$ volts.

207. Canalisation fermée. — *Calcul des conduites.*— Dans le cas d'un réseau, on a des conducteurs d'alimentation et de distribution. Les premiers, réunissant l'usine au circuit d'utilisation, constituent des câbles ouverts, dont la longueur, l'intensité et la perte de voltage sont parfaitement déterminées ; les autres, au contraire, forment entre eux des circuits fermés, dont on cherche à ramener le calcul à celui de câbles ouverts. Le problème est possible en se basant sur l'observation suivante :

Soit un conducteur AB (*fig.* 215) faisant partie d'un réseau de distribution, c'est-à-dire relié à ses deux extrémités à un circuit général; sur ce conducteur se trouve branché, en C, une dérivation d'intensité i à des distances l_1, l_2 des points A

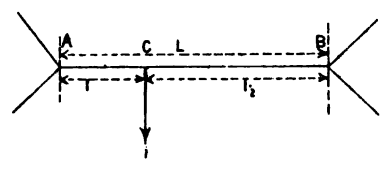


Fig. 215.

et B. Les intensités x et y à fournir en A et B, dont l'ensemble équivaut à i, sont égales, en désignant par V_A, V_B et V_C les potentiels en A, B et C, à

$$V_A - V_C = xr_1, \qquad V_B - V_C = yr_2$$
$$V_A - V_B = e = xr_1 - yr_2;$$

comme on a $x + y = i$, on en déduit, en posant $r_1 + r_2 = R$,

$$x = \frac{e + ir_2}{R} \text{ et } y = \frac{r_1 i - e}{R}.$$

Dans le cas où les potentiels en A et B ont la même valeur, $e = 0$ et les termes $\frac{ir_1}{R}$ et $\frac{ir_2}{R}$ devenus $\frac{il_1}{L}$ et $\frac{il_2}{L}$ sont analogues aux composantes reportées en A et B d'une force représentée par i. — Si on avait plusieurs branchements analogues à i, on n'aurait qu'à prendre les composantes de chacun d'eux par rapport à A et B; on obtiendrait une valeur $X = \Sigma x$ et $Y = \Sigma y$ représentant les quantités de courant à fournir à chacune des extrémités du conducteur.

Dès lors, il est facile d'utiliser ce principe pour le calcul d'un réseau. Si on considère deux points A et C d'alimentation de ce réseau (*fig.* 216), ils sont au même voltage. On peut tou-

jours les réunir par une ligne formée par divers conducteurs du réseau AB, BC, à laquelle se rattachent les divers branchements propres à chacun de ces conducteurs I_1, I_2 et dont on peut reporter les composantes à l'origine du conducteur principal ainsi constitué. Mais on a en outre les lignes, comme BD, aboutissant à cette ligne principale ; on peut assimiler chacune d'elles à un branchement dont l'intensité n'est autre que la composante au point de jonction avec la ligne principale des dérivations propres à cette ligne BD. Ce calcul n'est exact que si le potentiel aux extrémités de chaque ligne secondaire est le même, ce qui n'est pas toujours vrai, mais suffisant pour un premier calcul, d'autant mieux que les conduites seront ensuite vérifiées. Il en résulte que tout le réseau se trouve décomposé en câbles simples dont l'extrémité fictive n'est autre que le point où les courants de sens inverse provenant de chaque origine se rencontrent. On appliquera, dès lors, à chacun d'eux, tout ce qui est relatif aux conducteurs ouverts.

Vérification des conducteurs. — Dans le réseau ainsi calculé ou dans un réseau existant, il est intéressant de s'assurer

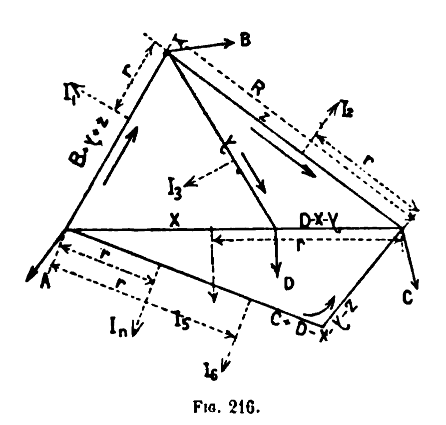


Fig. 216.

que l'intensité réelle et le voltage sont bien contenus dans limites normales. Cette vérification repose sur la loi de les

Kirchhoff et sur la remarque précédente. Il existe plusieurs méthodes.

Dans la méthode d'*Herzog et Stark*, la section et la longueur des fils étant connues, ainsi que l'intensité des divers branchements ou appareils d'utilisation, on cherche à déterminer l'intensité du courant circulant dans chacun des conducteurs de distribution. La première opération est de reporter à l'origine de chaque conducteur, c'est-à-dire au nœud d'une maille, les composantes de l'intensité à fournir par ce nœud; ce n'est en somme que l'application de la règle précédente. Connaissant alors l'intensité à fournir à chaque nœud A, B et C (*fig.* 216), on pose, comme inconnu, le courant xyz circulant dans chaque conducteur de résistance R, R_1 ... R_n avec la condition qu'à chaque nœud la somme des intensités y aboutissant $= o$. Dès lors, en appliquant à chaque maille la loi de Kirchhoff $\Sigma ir = e = o$, dans le cas particulier, comme on peut faire trois mailles, on aura trois équations :

$$(B + y + z) R_3 + yR_1 - xR = o,$$
$$yR_1 + (D - x - y) R_1 - R_2 z = o,$$
$$(B + y + z) R_3 + zR_2 - (D + C - x - y - z) R_5 = o.$$

De ces trois équations on déduit la valeur de x, y, z. Si on obtenait, pour une de ces valeurs, une quantité négative, cela voudrait dire que la circulation du courant se fait en sens inverse de celle supposée. Il est bien évident que le résultat doit être indépendant des inconnues adoptées.

Au lieu de calculer l'intensité, on peut chercher le voltage à chaque nœud. C'est la méthode de *Coltri;* elle permet de s'assurer que la perte de voltage entre deux nœuds ou à chaque nœud ne descend pas au-dessous de la limite fixée; de plus, il est très facile d'en déduire l'intensité dans chaque conduite. Soit par exemple le réseau précédent ABCD (*fig.* 217); si on considère un quelconque des sommets C, d'après la loi de Kirchhoff, en désignant par x, y, z les composantes dues aux différences de potentiel B — C, D — C, A — C, on a :

$$x = \frac{B - C}{R_1}, \qquad y = \frac{D - C}{R_2}, \qquad z = \frac{A - C}{R_3};$$

d'autre part, les quantités x, y, z sont faciles à évaluer en fonction des branchements I_1, I_2, I_3 à alimenter; si r est la résistance partielle comprise entre les branchements et les nœuds, R la résistance totale, on aura :

$$x = \frac{I_1 r_1}{R_1}, \qquad y = \frac{I_2 r_2}{R_2}, \qquad z = \frac{I_3 r_3}{R_3};$$

d'où on en déduit d'une manière générale :

$$x + y + z = \Sigma \frac{Ir}{R} = \frac{B - C}{R_1} + \frac{D - C}{R_2} + \frac{A - C}{R_3} = \Sigma \frac{V - V_0}{R}.$$

Le terme $\Sigma \frac{Ir}{R}$ n'est autre que le report à un nœud des composantes relatives aux branchements de tous les conduc-

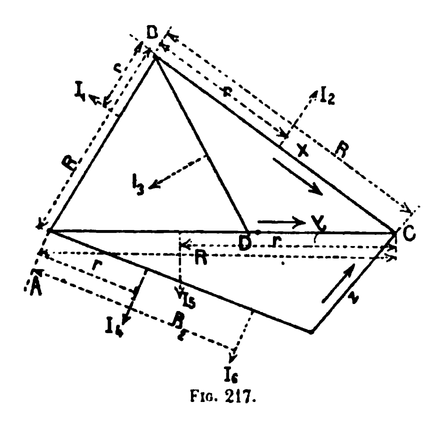


Fig. 217.

teurs convergeant vers ce nœud, comme dans la méthode précédente. Le terme $V - V_0$ se rapporte à la différence de potentiel d'un nœud et de tous les nœuds voisins. S'il y a n nœuds, on pourra écrire n équations, d'où il devient possible d'en déduire le potentiel ou une valeur correspondante à chaque nœud.

Cette méthode, qui doit contrôler la précédente et inversement, se trouve dans les mêmes conditions, c'est-à-dire qu'on

est amené à la réduction d'un certain nombre d'équations. Lorsqu'elles sont en petit nombre, le problème n'offre aucune difficulté. Il n'en est plus de même quand il s'agit d'un réseau important; le nombre des inconnues est alors trop important pour adopter la méthode directe. On se trouve amené à diviser le réseau en un certain nombre de sections ne présentant qu'un nombre de nœuds ou de mailles acceptable; il en résulte l'inconvénient de couper les conducteurs réunissant ces subdivisions entre elles. On peut encore, pour la résolution des équations, adopter des méthodes spéciales, comme celle de Seidel par exemple, pour simplifier les calculs. On verra par des exemples les différentes manières d'opérer (n° 269).

208. Conduites d'équilibre. — Lorsque, sur un réseau, la consommation vient à changer, la distribution du courant se trouve modifiée, entraînant la variation du voltage jusqu'aux points d'alimentation. Il est nécessaire de s'assurer que ces variations ne dépassent pas la limite qu'on s'est imposée. On peut arriver à rester dans cette limite en établissant en conséquence une conduite dite d'équilibre, réunissant entre eux les points d'alimentation, et qui le plus souvent n'est autre que la conduite de distribution la plus courte.

Si on considère deux centres d'alimentation A et B fournissant des courants I_1 et I_2 à un réseau, tant que la consommation demeure normale, le potentiel en A et B reste le même ; mais, si les conduites alimentées par l'une d'elles débitent moins, c'est-à-dire si I_1 ou I_2 diminue et ne soit plus qu'une fraction KI_1 et $K'I_2$, il se produit une différence de potentiel entre A et B. En supposant les conduites alimentées par A et celles par B séparées, la différence de voltage e' sera égale à :

$$e' = KI_1R_1 - K'I_2R_2,$$

R_1 et R_2 désignant la résistance correspondante à chaque d'alimentation ; or, comme le voltage perdu de l'usine a

points d'alimentation a été pris de façon que $I_1R_1 = I_2R_2 = E$, c'est-à-dire le même, on aura :

$$e' = E(K - K').$$

En vertu de cette force électromotrice, il résulte un courant dans le circuit de A à B par l'usine ; les fils du réseau étant supposés séparés, son sens sera tel que, si on a $K' < K$, le voltage sera en B > A, et le courant d'équilibre renforcera le débit en A. Si maintenant on réunit les deux points A et B par une conduite dite d'équilibre ou une des conduites de distribution, il résultera dans cette conduite un courant en sens inverse du courant ordinaire, c'est-à-dire allant de B vers A, tandis que le premier allait de A vers B. La quantité e' se trouve modifiée d'une quantité e, qui n'est autre que la perte de voltage réelle de B en A, correspondant à la résistance de cette conduite ; on a donc pour le courant allant de B vers A par l'usine :

$$e' - e = i(R_1 + R_2),$$

et, d'autre part, la conduite d'équilibre AB doit être calculée de façon que i aille vers B, équilibrant celui de B vers A ; pour éviter toute perte et maintenir intégralement le courant de renforcement, on doit avoir :

$$e = \frac{i \times \rho l}{s},$$

d'où :

$$s = \frac{\rho l}{(R_1 + R_2)} \left(\frac{e'}{e} - 1\right).$$

Si la conduite existe déjà, on a : $e = ir$, et la valeur de e' égale

$$e' = \frac{e(R_1 + R_2 + r)}{r},$$

d'où on déduit la quantité $K - K'$, c'est-à-dire la différence de charge possible pour que le potentiel d'un point à un autre ne dépasse pas e.

§ 2. — Distribution du courant

209. Conducteurs. — *Lignes aériennes.* — Toutes les fois qu'il est possible, les fils conducteurs en cuivre nu sont simplement tendus entre des isolateurs portés par des poteaux en bois ou en fer de 6 à 10 mètres de haut sur 15 à 20 centimètres de diamètre et enfoncés dans le sol de 1m,30 à 1m,50. Les po-

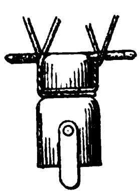
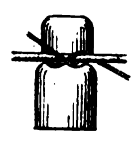



Fig. 218. — Isolateurs ordinaires.

teaux, sapin rouge, mélèze ou chêne, doivent être injectés de créosote ou de sulfate de cuivre (250 litres par mètre cube de bois). Le bois doit être sec, sans nœuds ou fentes, et être parfaitement droit. Pour les lignes importantes, on emploie les poteaux en fer de 10 à 12 mètres de hauteur.

Les isolateurs sur lesquels reposent les câbles (*fig.* 218) ont la forme d'une cloche simple ou double en porcelaine émaillée ou en verre. Pour des tensions supérieures à 3.000 volts, on emploie des isolateurs à huile minérale, déposée dans un rebord extérieur de l'isolateur ou dans un godet inférieur (*fig.* 219); mais l'huile, à la longue, finit par disparaître, ce qui rend cette complication de l'isolateur inutile. Les isolateurs sont supportés par des tiges en fer fixées solidement ou même scellées dans la cloche et vissées sur le poteau. Dans les villes, on emploie des consoles placées le long des bâtiments ou des poteaux disposés sur les toits et munis dans le bas d'une base épousant la forme du faîte. Les consoles sont supportées par des cram-

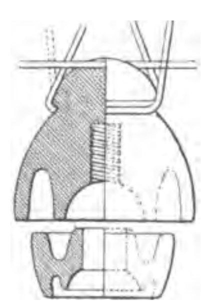


Fig. 219. — Isolateur à l'huile.

pons en fer à fourche scellés dans le mur ; elles se font en bois de section carrée (10 centimètres de côté), en fer cornière ou à T, sur lesquelles sont fixés les supports des isolateurs. La distance des conducteurs entre eux varie de $0^m,30$ à $0^m,50$, et leur hauteur au-dessus du sol dépend des contrées et des conditions d'installation.

L'espacement des poteaux est fonction du poids du câble et de la résistance de ce dernier à la tension. On peut rendre la portée plus ou moins importante suivant la flèche qu'on donne au fil entre ses deux supports. Si p est le poids en kilogrammes par mètre courant, T la tension en kilogrammes égale à 1/10 de la résistance par millimètre carré, f la flèche en mètres, on aura pour la portée l en mètres :

$$l = \sqrt{\frac{8fT}{p}}.$$

La valeur de f peut être déterminée par des considérations pratiques; on peut toujours la prendre égale à une fraction de 1/10, à 1/60 de la portée. La valeur de p doit être majorée de la résistance au vent ou à la neige, soit 25 kilogrammes par mètre carré.

Soit, par exemple, un fil de cuivre de 4 millimètres dont le poids par mètre courant, majoré de la pression du vent, peut être pris égal à 1 kilogramme par mètre; la tension de 26 kilogrammes par millimètre sera égale à 4,3, si on prend un coefficient de sécurité égal à 6, soit, pour une section de $12^{mm2},56$, une tension de 54 kilogrammes : la flèche étant prise égale à 5 mètres, on aura pour la portée :

$$l = \sqrt{\frac{8 \times 5^m \times 54}{1}} = 45 \text{ mètres}$$

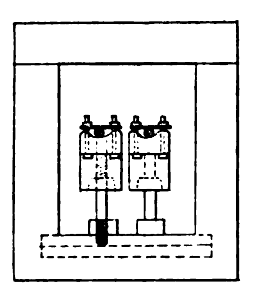
La longueur du fil est égale à :

$$l + \frac{l^3p^2}{24T^2}, \text{ soit ici } \quad 45 + \frac{45^3 \times 1}{24 \times 54^2} = 46^m,36.$$

Dans les parties rectilignes, le fil repose dans la rainure de l'isolateur, et, dans les courbes, sur le côté. Pour tendre le fil, déroulé d'un tambour, on serre l'extrémité libre dans une griffe maintenue par un crochet d'un palan à trois poulies en bronze, dont l'autre crochet est fixé au poteau. Il suffit, une fois la flèche obtenue, de lier le câble à l'isolateur, au moyen d'un fil auxiliaire de 1 à 2 millimètres de diamètre. Très souvent, pour empêcher la transmission des vibrations, on maintient le câble au moyen d'un fil intermédiaire reposant sur l'isolateur et relié et soudé au fil conducteur avec interposition de deux roulettes isolantes. On vérifie ordinairement la tension au moyen d'un dynamomètre.

Pour les très longues portées ou lorsqu'il s'agit de câbles lourds, on les soutient par des câbles perpendiculaires en acier dont la résistance plus grande permet d'espacer les supports. De courts tirants en fer supportent les isolateurs à gorge sur lesquels passe le conducteur.

Lignes souterraines. — Comme il n'est pas toujours possible d'adopter les lignes aériennes, on est amené à installer les



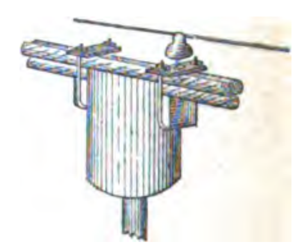


Fig. 220. — Câbles nus.

conduites dans des constructions souterraines déjà existantes comme les égouts, ou dans des caniveaux spéciaux. Ces caniveaux, à 20 centimètres au moins de profondeur, sont de dimensions réduites (25 à 30 centimètres de hauteur); ils sont formés par une sorte de dallage en ciment ou maçonnerie fermé par un couvercle; de distance en distance, tous les 1m,5

on dispose des cadres en bois munis de crochets vitrifiés pour recevoir les conducteurs isolés. D'autres fois, on installe tous les $1^m,60$ dans le fond du radier des isolateurs sur lesquels reposent les conducteurs constitués par des câbles *nus* (*fig.* 220) ou des bandes de cuivre superposées. Ce dispositif (Crampton) permet d'augmenter à volonté la section du conducteur. Très souvent les conducteurs nus sont étamés pour empêcher l'attaque de l'humidité. De distance en distance, on ménage des regards pour la visite de la conduite et sa ventilation. A la traversée des rues ou des carrefours, les caniveaux sont remplacés par de véritables galeries permettant les réparations sans bouleverser le sol.

L'installation des caniveaux est assez onéreuse ; aussi, dans bien des cas, préfère-t-on les remplacer par des conduites en fonte, en fer ou même en bois. Les câbles, alors *isolés*, sont introduits par des cordes dans les tubes de 6 à 7 mètres assemblés entre eux par des manchons filetés ou à emboîtement. On peut encore poser les câbles isolés dans des caniveaux où on les soutient au moyen de supports en bois ou porcelaine, puis l'espace libre est rempli de sable ou d'une matière isolante (*fig.* 221).

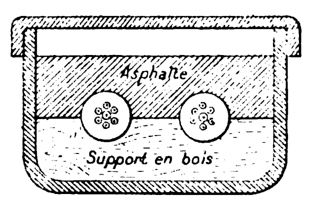


Fig. 221. — Câbles isolés.

L'isolement des câbles est obtenu au moyen d'une couche de caoutchouc ou de gutta-percha de $1^{mm},5$ à 2 millimètres intercalée entre un ruban posé sur le câble et une tresse extérieure résistante ; avec le caoutchouc pur, l'âme doit être étamée. On peut encore entourer le câble d'une double enveloppe fibreuse en jute ou coton imprégnée d'une matière isolante, comme du pétrole, de l'huile résineuse, du bitume, etc. La paraffine est également un bon isolant; mais elle se fendille trop ; aussi doit-on, comme pour la plupart des autres isolants, l'entourer d'une double enveloppe de plomb posée à chaud où à froid, sous pression, qui empêche l'introduction de l'humidité; entre les deux couches de plomb, on intercale une couche de brai.

Les câbles isolés peuvent se poser directement dans le sol, mais, pour les préserver de toute action extérieure, il faut les *armer*, c'est-à-dire les entourer d'une enveloppe en acier (*fig.* 222). Les câbles sont placés dans une tranchée sur une couche de sable de 10 à 15 centimètres d'épaisseur et recouverts d'une nouvelle couche de sable sur laquelle on dispose un treillis en fils de fer pour prévenir de leur présence. Pour les courants alternatifs, le fil d'aller et celui de retour, concentriques, sont contenus dans la même armature. Dans le système Siemens, le câble central est constitué par un seul fil séparé de l'autre câble à plusieurs fils par un isolant formé

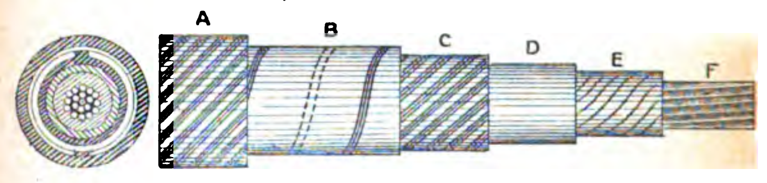


Fig. 222. — Câble armé.
A, jute goudronnée ; — B, armature en acier ; — C, jute goudronnée ; D, enveloppe en plomb ; — E, isolant ; — F, âme en cuivre.

de matière en jute et papier imprégnée de résine. Une nouvelle enveloppe d'isolant sépare le câble extérieur d'une chemise en plomb doublée d'un ruban d'acier extérieur. Les câbles Berthoud-Borel ne diffèrent de ceux-ci que par le mode de fabrication et par la suppression du ruban d'acier, remplacé par une enveloppe de plomb posé à chaud.

Les câbles armés à conducteurs concentriques ont une capacité considérable, d'où une surélévation de tension qui peut provoquer des décharges disruptives. Avec les courants alternatifs, à vide, les câbles sont parcourus par des courants faibles, à cause de la self-induction ; dès que celle-ci est équilibrée par la capacité des câbles, ce courant augmente, par suite, les forces électromotrices de self-induction et de capacité au point de les rendre dangereuses. On doit dans ce but adopter les faibles capacités obtenues avec des câbles torsadés et non plus concentriques. Le potentiel du câble extérieur étant très voisin de celui de la terre, on a intérêt à le relier à celle-ci pour le rendre inoffensif.

210. Canalisations intérieures. — A l'intérieur des habitations, on n'emploie guère que des câbles isolés ; ils doivent être assez souples pour pouvoir être courbés facilement. Les conducteurs sont généralement séparés, sauf cependant pour les câbles sous plomb et pour les câbles pour lampes portatives. Les câbles employés sont formés par des fils de cuivre,



Fig. 223. — Isolateurs pour câbles d'intérieur.

entourés d'enveloppes en coton très résistant recouvertes de vernis incombustible et dont le nombre (deux à six) varie avec l'humidité des lieux, c'est-à-dire avec l'isolement à obtenir. Les câbles peuvent être placés sur des poulies ou bagues en porcelaine ou encore sur des taquets en métal revêtus d'une enveloppe isolante (*fig.* 223). On doit toujours ménager un certain intervalle entre les conducteurs et les parois voisines (5 à 15 millimètres pour la basse tension et 100 millimètres pour la haute); les supports doivent être assez rapprochés.

Fig. 224. — Cavalier

Quelquefois les câbles parallèles ou en torsades sont fixés contre les murs à l'aide de cavaliers en métal (*fig.* 224). Pour empêcher le contact du cavalier en métal avec les câbles, même isolés, on intercale une petite bande de caoutchouc.

On peut encore dissimuler les câbles dans des moulures ou petits caniveaux en bois maintenus contre la paroi par des clous enfoncés dans des taquets en bois dur (*fig.* 225). Chaque

câble pénètre dans une rainure et n'est maintenu que par le couvercle de la moulure. Ce dispositif n'est pas admis partout et ne convient pas dans les endroits humides.

Lorsqu'un câble, même isolé, rencontre un tuyau métallique (eau, gaz), il faut avoir soin de l'isoler de la canalisation métallique par une plaque de caoutchouc (*fig.* 226).

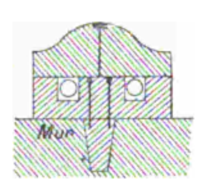


Fig. 225. — Moulure.

Parfois les câbles sont enfermés dans des tubes en plomb que l'on fixe à la paroi par des crampons en ayant soin de ne pas détériorer l'enveloppe, que ne doit pas attaquer non plus la maçonnerie. Les deux câbles aller et retour sont enfermés dans le même tube, surtout s'il s'agit de courants alternatifs, auquel cas, du reste, ils sont le plus souvent concentriques. On évite ordinairement de placer les joints et les branchements à l'intérieur des tuyaux; il vaut mieux recourir à des boîtes spéciales.

Pour traverser les murs, les plafonds, les conducteurs sont placés dans des tubes en matière isolante quelconque, sauf le bois. On a généralisé le système, en disposant les fils dans des tubes résistants, comme du fer, du papier durci. Il faut surtout éviter d'endommager le câble, qu'on introduit par tirage. Après la pose des câbles enfilés dans les tubes au moyen d'une corde, les tubes, de 7 à 10 millimètres de diamètre, sont fixés au mur par des colliers; on les assemble entre eux au moyen de brides, leur longueur étant de 3 à 4 mètres. Les conducteurs principaux ont chacun un tube spécial; mais, pour les conducteurs secondaires ou avec les courants alternatifs, on n'a qu'un seul tube; avec ces derniers, le tube doit être relié à la terre.

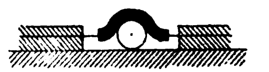


Fig. 226. — Passage d'un câble sur un tuyau métallique.

211. Joints. — Branchements. — La jonction des câbles doit se faire avec beaucoup de soin, pour assurer tout à la fois, la solidité de la ligne et la continuité du courant. Cette dernière condition est surtout indispensable pour ne

pas augmenter inutilement la résistance des conducteurs.

Lorsqu'il s'agit de fils *nus* de faible section, le joint se fait en enroulant, par une double torsade, chaque extrémité de fil sur l'autre câble (*fig.* 227); on peut, pour des sections plus grandes, recourir à un fil auxiliaire entourant les deux extrémités des câbles accolés, ou encore à une sorte de manchon à l'intérieur duquel on fait passer les fils à relier; on recourbe ensuite l'extrémité dans une encoche ménagée sur le manchon.

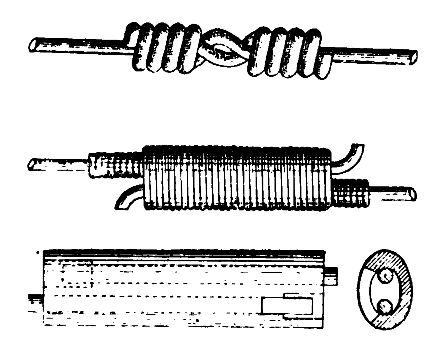
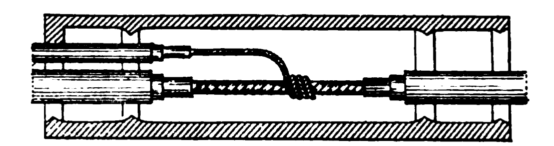


FIG. 227. — Jonction de câbles nus.

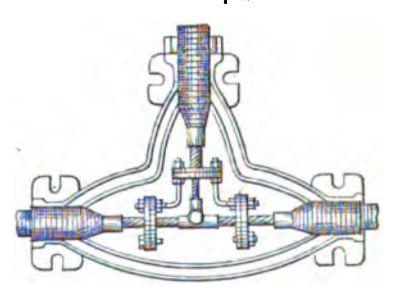
La liaison, comme presque toujours, est rendue intime par de la soudure. Avec les canalisations souterraines, on a moins à craindre la tension du câble, on assure le plus souvent la liaison au moyen d'un simple fil avec de la soudure; quelquefois on serre lès extrémités des fils au moyen d'un manchon spécial en deux parties réunies par des boulons.

Pour des câbles *isolés*, le joint doit avoir autant que possible le diamètre du câble lui-même; la difficulté est un peu plus grande dans le cas de conducteurs de faible diamètre, les fils dénudés et nettoyés sont réunis par une simple torsade qu'on enveloppe ensuite d'une étoffe isolante. On applique à peu près le même procédé pour les câbles isolés plus importants avec armature en plomb, sauf qu'après la confection du joint on rétablit successivement

les enveloppes isolantes et les armatures. Pour les câbles *concentriques* armés et pour quelques câbles ordinaires très importants, la liaison s'effectue dans des boites spéciales (*fig.* 228); les fils, dénudés séparément, sont réunis entre eux au moyen de pinces spéciales. La boîte en fonte est fermée par un couvercle : le joint une fois terminé, on coule à l'intérieur une matière isolante qui varie avec les fabricants.



Câble simple.



Câbles concentriques.
Fig. 228. — Boites de jonction.

Il faut avoir soin surtout de ne pas laisser pénétrer l'air ou l'humidité.

On doit éviter, dans le nettoyage des métaux, le décapage à l'acide; les fils doivent en outre être étamés. La soudure qui sert à combler les vides, pour augmenter le contact, est formée généralement de 2 d'étain pour 1 de plomb.

Les branchements se font comme les jonctions; il faut seulement avoir soin de rendre le contact bien intime entre les différents conducteurs. Aux nœuds dans un réseau, on emploie de préférence des boites spéciales placées très souvent à fleur du sol (*fig.* 229); les conducteurs, débarrassés

de leur armature, sont enfilés dans des trous pratiqués sur les parois des boîtes; on les réunit au moyen de bornes avec

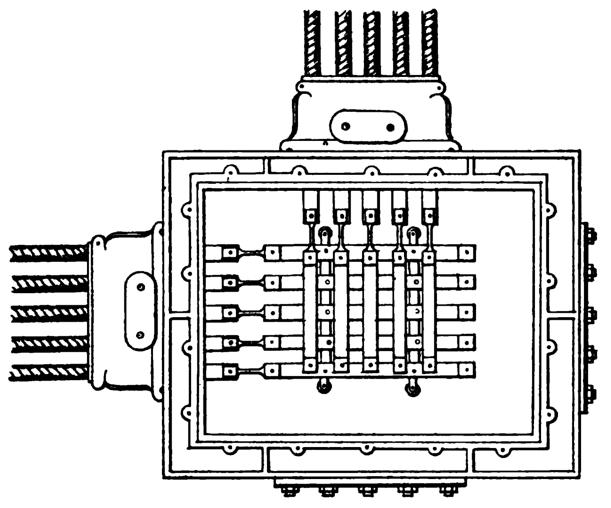


FIG. 229. — Boîte de jonction avec plombs fusibles.

plombs fusibles. Les bornes se posent sur les blocs isolants placés sur le fond de la boîte qu'on remplit de substance

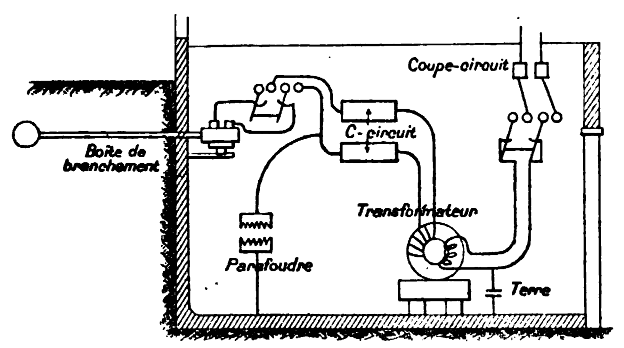


FIG. 230. — Branchement pour courants alternatifs à haute tension.

isolante, ne laissant à découvert que les bornes des plombs fusibles.

Ces boîtes peuvent servir pour l'introduction du courant chez les abonnés d'un secteur. Il suffit d'enlever les plombs pour supprimer le courant. Au lieu de plomb, on pourrait avoir un commutateur ; mais alors il doit être disposé dans un coffret ou une pièce isolée dont le fournisseur du courant a seul la clé et qui renferme, en outre, tous les accessoires nécessités par le mode de distribution adopté (*fig.* 230). A la sortie de la boîte de branchement ou du coffret, l'un des câbles va au compteur, puis aux différents appareils d'utilisation. Il revient ensuite à la boîte, formant ainsi le second câble.

212. Isolement des lignes. — Recherche des pertes. — La valeur de l'isolement d'une ligne n'est pas nettement définie ; elle varie suivant les pays. C'est ainsi que, en désignant par R la résistance ohmique totale d'une installation, on prend pour l'isolement : 5.000 fois cette valeur (Sociétés électrotechniques de Vienne, et des Ingénieurs électriciens de Londres), 10.000 (Chambre syndicale des Industries électriques de France), 20.000 (Compagnies d'assurances anglaises) et 60.000 (Jamienson). Cette manière d'évaluer l'isolement est encore plus précise que celles qui consistent soit à tenir compte du nombre de lampes, comme par exemple à Kœnigsberg, où l'isolement est pris égal à $\frac{5}{n}$ mégohms (n, nombre de lampes de 16 bougies), soit comme en Belgique, où l'isolement de la canalisation est seulement de 500.000 ohms par kilomètre et par volt. Enfin, on peut fixer la valeur de l'isolement en imposant au courant dérivé à la terre une valeur déterminée, soit par exemple le 1/1.000 du courant normal.

Il est de tout intérêt de pouvoir fixer les défauts d'isolement d'une installation, qui sont indiqués par des appareils indicateurs de terre ou par une consommation exagérée de courant.

Si les câbles peuvent être *isolés* entre deux dérivations, pendant un arrêt de l'installation, on applique la méthode de M. Gérard : une des extrémités du câble à essayer est reliée au pôle d'une pile dont l'autre pôle est réuni par intermittence au sol ; le long du conducteur, aux points accessibles, on approche une petite bobine avec noyau en fer feuilleté et dont les extrémités sont reliées à un récepteur

téléphonique ; tant que la bobine n'aura pas dépassé le point où a lieu la perte, on entendra le frottement du fil de la pile qui cessera à partir de ce point. S'il s'agissait de déterminer le point de contact de deux câbles voisins, le second câble serait utilisé à la place de la terre, comme conducteur de retour du courant de la pile.

Dans le cas de circuits contenant des *lampes en série*, on enlève celle du milieu, et chaque moitié du câble avec ses lampes est essayée avec un galvanomètre dont une des bornes est reliée au câble et l'autre à la terre en passant par une pile. On détache ensuite du câble défectueux successivement les lampes en commençant par la plus éloignée par rapport au galvanomètre, jusqu'à ce que la déviation cesse, ce qui indique que la lampe réunie au tronçon défectueux est comprise entre les deux dernières lampes détachées. Si, au lieu d'une terre, on a un contact entre deux parties voisines du fil, ce qui est indiqué par l'affaiblissement des lampes, on fait l'essai au galvanomètre en séparant successivement une lampe après l'autre en commençant par une extrémité; le tronçon défectueux sera celui à partir duquel tout détachement de lampe n'empêche pas la déviation du galvanomètre.

Avec les lampes *en dérivation*, le défaut d'isolement entre deux conduites est indiqué par la fusion des coupe-circuits. Lorsqu'il s'agit d'une perte à la terre, on peut en marche chercher la fuite; on réunit successivement deux ou trois fils principaux de la canalisation à la terre avec un fil fusible mince. S'il fond, c'est que la perte a lieu sur une dérivation; puis progressivement on augmente le diamètre du plomb fusible du fil d'essai jusqu'à faire fondre celui de la dérivation défectueuse ainsi localisée. Cet essai est assez délicat, et, souvent, il est préférable de faire les recherches sur chaque conducteur d'alimentation ou de distribution séparé.

Une méthode très simple de recherches consiste envoyer, toutes les dix secondes, un courant d'une dizaine a ampères dans le circuit; on présente à un regard une boussole; si le défaut est plus loin, l'aiguille de la boussole oscille toutes les dix secondes; s'il est plus près, elle ne bouge pas ; on localise ainsi les défauts entre les regards. Sur une ligne de 8 à 10 kilomètres, l'essai dure trois heures environ.

213. Distribution en dérivation. — Pour l'éclairage électrique, on emploie tous les systèmes de courants existants, on rencontrera donc tous les modes de distribution ; mais, quel que soit le dispositif, il est indispensable que le voltage aux bornes de la lampe et que l'intensité du courant qui la traverse soient constants pour obtenir une bonne lumière. Lorsque les appareils à desservir ne sont pas très éloignés, on emploie le courant continu à potentiel constant de 110 ou 115 volts; l'alimentation alors en dérivation des lampes peut se faire de différentes façons :

1° Tous les branchements des lampes à arc deux à deux en série et des lampes à incandescence appartenant à un même groupe partent des bornes de la dynamo à potentiel constant (*fig.* 231); il suffira donc de proportionner la section de chaque branchement à sa longueur et à son débit pour avoir le voltage nécessaire aux appareils. On a intérêt, pour réduire le poids du cuivre, à placer la dynamo au centre de l'installation.

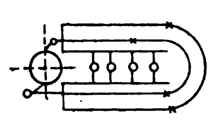


Fig. 231. — Distribution en dérivation.

2° Le système précédent, qui a l'avantage de rendre tous les circuits indépendants, est assez onéreux : très souvent on se contente de brancher sur deux conducteurs principaux par le chemin le plus court les appareils à desservir; le voltage allant en diminuant de l'origine à la fin, la perte de voltage disponible à chaque branchement va constamment en diminuant, de là l'obligation de proportionner la section des branchements pour que le voltage aux bornes des lampes soit le même. En outre, si on vient à éteindre un certain nombre de circuits, la tension des lampes allumées va en augmentant, et cela d'autant plus que le voltage absorbé en ligne est important. C'est ce qui explique que la perte de voltage admise ne dépasse guère 2 à 4 volts, de façon que le régime du courant des lampes n'oscille que de 1 à 1,5 0/0.

3° Pour avoir la même perte de voltage à l'origine de tous les branchements, on emploie la disposition dite en *boucle* (*fig.* 232), qui consiste à relier le premier branchement à l'origine de l'un des câbles et à la fin de l'autre; on opère

de même pour tous les branchements, de façon à rendre constante la longueur de chaque dérivation sur le câble principal. Pour le calcul des deux câbles principaux, on répartit la perte de voltage admise sur les différents tronçons de l'un d'eux, de façon que la densité soit constante; par exemple, la perte de voltage étant la même pour tous les branchements, par différence avec celle des tronçons du premier câble, on obtiendra la perte dans les différents tronçons du second. Ce dispositif ne convient que pour les installations de peu d'importance.

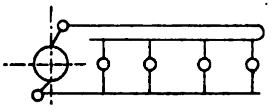


Fig. 232. — Distribution en boucle

4° Dans le cas d'un réseau fermé d'une certaine importance, les câbles de distribution sur lesquels sont branchées les différentes dérivations reçoivent le courant de l'usine par l'intermédiaire de fils spéciaux d'alimentation ou *feeders* partant des bornes de la dynamo pour aboutir en différents points du réseau (*fig.* 233). Pour maintenir, aux extrémités des feeders, une tension constante, ce qu'il est indispensable d'avoir pour que, dans la distribution, les variations de voltage soient très faibles, on intercale sur chacun d'eux une résistance dont on fait varier la longueur suivant les besoins; on fait aussi très souvent varier en même temps la tension de la dynamo, en ayant soin toujours qu'elle soit un peu supérieure à celle nécessitée par le feeder le plus chargé. Ces résistances auxiliaires se font en maillechort ou en charbon. On peut même, lorsque le débit est très faible, à certaines heures, supprimer certains feeders et réduire d'autant les pertes en ligne. Le voltage aux points de jonction des feeders et de la distribution est donné d'une manière permanente par des voltmètres situés à l'usine et reliés à ces points par des fils pilotes.

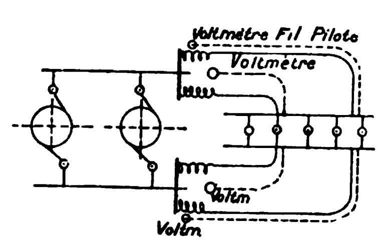


Fig. 233. — Distribution par feeders.

Pour le calcul des différents conducteurs, on s'occupe d'abord des fils de distribution, pour lesquels on se fixe une perte de voltage de 2 à 3 0/0 ; la longueur et l'intensité du courant à fournir étant connues, le problème revient à calculer la section, que l'on vérifie par une des méthodes indiquées plus haut. Quant aux feeders, le nombre est variable et se fixe un peu arbitrairement : trop nombreux, ils compliquent la pose et augmentent son prix de revient ; s'il n'y en a pas assez, on obtient des câbles trop forts. La distance qui sépare deux points d'alimentation varie de 150 à 300 mètres, et la section des câbles ne dépasse guère 300 à 400 millimètres carrés. Quant à la perte de voltage sur les feeders, elle atteint 10 à 15 0/0, l'intensité à fournir par un feeder est égale à celle qui doit partir du point d'alimentation considéré conformément aux conditions précédentes. On applique aux feeders le calcul de la densité la plus économique d'après la règle de Thomson. Dans le cas des fils de distribution, on fait le calcul d'après l'intensité maxima à fournir et, dans le feeder, d'après l'intensité moyenne.

Les feeders sont réunis entre eux sur une grande partie de leur parcours commun, formant ainsi ce qu'on appelle des conduits *collecteurs* à forte section. L'avantage de cette disposition est de faciliter la circulation du courant et de réduire les différences de voltage entre deux points d'alimentation sans avoir recours aux résistances auxiliaires. Les dynamos employées avec ce genre de distribution sont à excitation shunt ou compound.

214. Distribution à plusieurs fils. — *Courants continus ou alternatifs.* — Pour des distributions de grande importance, on cherche à diminuer le prix de l'installation en réduisant la section des câbles principaux, tout en conservant les avantages de la distribution en dérivation. Dans ce but, on a imaginé la distribution à plusieurs fils ou ponts. Le principe consiste à accoler deux distributions en dérivation identiques par un de leurs câbles de nom contraire : la distribution ainsi obtenue est à 3 conducteurs et à 2 machines placées entre les fils extrêmes (*fig.* 234) ; le voltage se trouve doublé ; par suite, la section peut être réduite de moitié, le

fil du milieu ou fil neutre n'est parcouru par aucun courant, lorsque les lampes allumées sont uniformément réparties entre ce fil et les fils extérieurs ou sur chaque pont; mais, en pratique, cette égalité n'est jamais complète; aussi lui donne-t-on souvent la section des fils extérieurs: l'économie de cuivre varie de 75 0/0 à 60 0/0, suivant l'importance de la section du fil neutre.

On a généralisé le système de manière à étendre son champ d'action : on a des distributions à 4 et 5 fils ; la différence de potentiel entre deux fils ou sur chaque pont est alors égale au 1/4 ou 1/5 du voltage entre les fils extérieurs. Dans le cas d'une distribution à cinq fils, on donne plus d'importance comme section au fil du milieu et les deux intermédiaires entre ce fil et les deux extrêmes, calculés, eux, d'après la tension, n'ont que 4 à 5 millimètres de diamètre. L'économie est de 77 0/0 environ. Au lieu d'avoir une machine sur chaque pont, il est aussi simple d'en avoir une seule à la tension

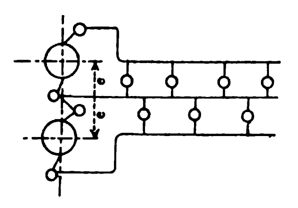


Fig. 234. — Distribution (trois fils).

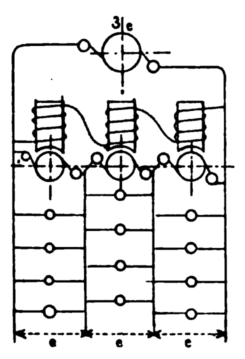


Fig. 235. — Distribution à 4 fils avec dynamos de réglage.

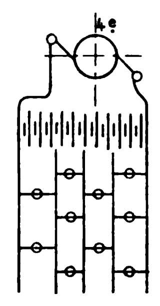


Fig. 236. — Distribution à 5 fils avec accumulateurs de réglage.

des câbles extrêmes, ce qui simplifie le matériel. Pour répartir alors le courant sur chaque pont proportionnel-

lement à la charge, on emploie un régulateur ou répartiteur de courant composé de 4 dynamos manchonnées ensemble et intercalées chacune sur un pont (*fig.* 235). Quand le potentiel est le même aux bornes de chaque dynamo, c'est-à-dire lorsque les ponts sont également chargés, tout le groupe reste immobile; mais, s'il augmente aux bornes d'une ou de plusieurs d'entre elles, celles-ci se transforment en moteurs et entraînent les dynamos où le voltage est plus faible et qui deviennent alors générateurs. Au lieu d'un régulateur mécanique, on peut employer une batterie d'accumulateurs (*fig.* 236) qui n'intervient que lorsque le débit augmente sur l'un des ponts; les appareils régulateurs peuvent être disposés sur le réseau de distribution assez loin de l'usine, ce qui réduit d'autant la longueur des fils intermédiaires. L'isolement dans ce mode de distribution, dont le voltage atteint 220 volts et 440 volts, doit être fait avec soin. Le fil neutre doit être mis à la terre.

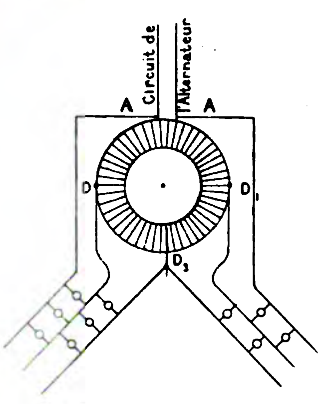


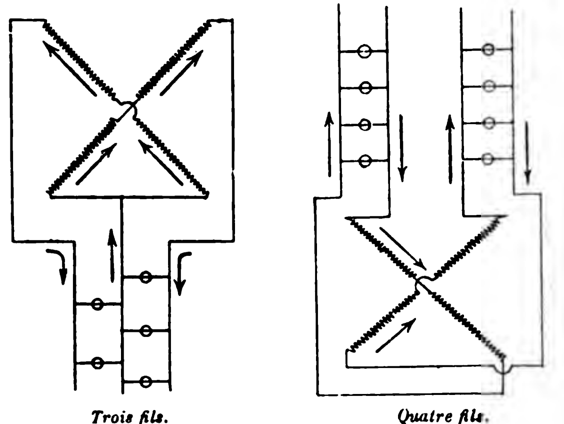
Fig. 237. — Distribution à 3 fils (courants alternatifs).

L'arrivée du courant aux fils de distribution peut se faire directement ou au moyen de feeders. Le calcul des câbles de distribution ne présente aucune difficulté, on le ramène à celui d'une distribution à deux fils en considérant les deux fils extérieurs et en supposant les appareils d'utilisation montés 2 par 2 en série ou davantage s'il y a plus de trois fils, c'est-à-dire en doublant, triplant, quadruplant, suivant le cas, la perte de charge disponible. Après cela, on détermine la section des fils intermédiaires, en se basant sur la répartition des appareils sur les divers ponts.

Pour les courants alternatifs avec transformateurs, on n'a pas besoin de recourir à une distribution spéciale à fils multiples; cependant, à la rigueur, on peut employer le dispositif

indiqué sur la figure 237, où un compensateur à un seul enroulement se trouve réuni, d'une part, au circuit de l'alternateur AA et, de l'autre, en trois de ses points D, D_1, D_3, à celui de la distribution; les lampes fonctionnent à potentiel constant, quelles que soient les charges.

Courants polyphasés. — Les courants polyphasés également à plusieurs fils sont surtout employés pour l'alimentation des



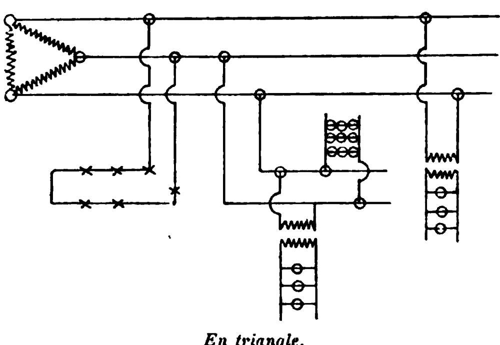
Trois fils. *Quatre fils.*

Fig. 238. — Distribution par courants biphasés.

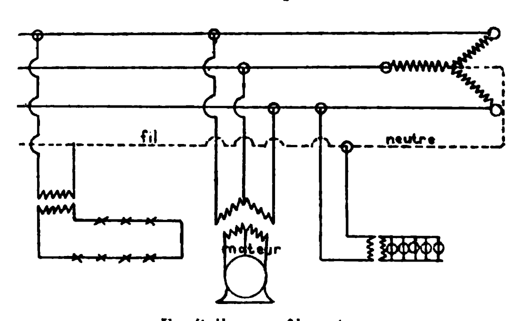
moteurs; mais on les utilise aussi pour l'éclairage, surtout si le nombre des lampes est peu élevé. Pour les courants biphasés, c'est-à-dire dans lesquels deux courants alternatifs sont décalés l'un par rapport à l'autre de 1/4 de période ou de 90°, on a un circuit distinct pour chacun d'eux, soit quatre conducteurs, ou un seul fil de retour, soit trois conducteurs (*fig.* 238).

Avec les courants triphasés, c'est-à-dire décalés de 60°, on a trois conducteurs montés en étoile, en triangle, ou une combinaison mixte suivant le cas (*fig.* 239). Ils procurent sur les courants alternatifs une économie réelle sur le poids des conducteurs de la ligne. Toutefois, si l'on veut limiter la différence de tension entre deux conducteurs voisins (n° 206), il faut réduire la tension au générateur et, par suite, augmenter

l'intensité, c'est-à-dire le poids des câbles. L'économie est moins importante et peut être nulle; il n'y a que le montage en étoile qui donne dans les divers cas 25 0/0 d'économie.



En triangle.



En étoile avec fil neutre.

Fig. 239. — Distribution par courants triphasés.

Les courants restent parfaitement décalés tant que la charge est la même pour tous les conducteurs, comme c'est le cas lorsque les moteurs sont reliés à tous les fils. Dans ce but, on avait imaginé au début des lampes à trois filaments; mais cette complication a été abandonnée. On se contente de charger autant que possible également les trois fils. On peut, avec le montage en étoile, rendre les trois circuits indépendants en installant un quatrième fil ou fil neutre, auquel sont reliées les différentes dérivations d'éclairage.

Il faut autant que possible équilibrer encore les charges pour que le courant du fil neutre soit nul.

Pour éviter le fil neutre, on peut, comme aux ateliers de Oerlikon et à la gare de Dresde, dans un montage en étoile, distribuer toutes les lampes sur un seul circuit, les moteurs étant reliés aux trois conducteurs; dès lors, pour équilibrer la charge supplémentaire du circuit d'éclairage, on ferme sur celui-ci deux des circuits d'une alternative triphasée, le troisième restant ouvert.

Dans le même but, M. Steinmetz a imaginé un autre dispositif : l'alternateur est muni d'un enroulement ordinaire et d'un enroulement supplémentaire, de manière à produire une force électromotrice décalée de 90°; il est relié au milieu de l'enroulement ordinaire et au troisième fil. L'enroulement ordinaire dessert le réseau d'éclairage, et les moteurs sont reliés aux trois conducteurs. Cette distribution porte le nom de monocyclique.

M. Girgensohn préconise l'emploi de générateurs diphasés avec trois fils : les lampes sont montées sur les fils extrêmes et les moteurs sont alimentés par l'une des phases ou par les deux. L'avantage du système est qu'on peut se servir d'un générateur diphasé dont la puissance est plus élevée que celle d'un alternateur monophasé correspondant. Il convient surtout lorsque l'éclairage est plus important que la force motrice.

Il existe encore d'autres dispositifs pour l'éclairage par courants polyphasés; mais ce sont généralement des solutions plutôt spéciales, étudiées pour chaque cas particulier.

215. Distribution en série. — Dans ce genre de distribution à intensité constante, tous les appareils sont montés sur un seul circuit. Le voltage est alors considérable, ce qui permet de réduire de beaucoup la section du câble, puisque l'intensité n'est que celle d'une lampe; par contre, tous les appareils sont solidaires et l'isolement du câble doit être fait avec soin, à cause de la haute tension.

Avec les courants continus, on ne dépasse guère 2.400, soit 40 à 50 lampes, ce qui est très souvent insuffisant; de plus, les générateurs ont un faible rendement, leur réglage est

assez difficile et il n'en existe qu'un tout petit nombre. On est arrivé à faire des machines à circuits multiples (Thomson-Houston) connectés ou non entre eux. Chacun d'eux porte une partie de la charge totale, soit toujours 40 à 50 lampes, mais il est indépendant des autres : la machine étant beaucoup plus forte, son rendement est meilleur, sa vitesse est moins grande et on peut la commander directement par un moteur à vapeur.

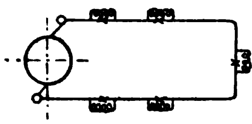


Fig. 240. — Distribution en série.

Avec les courants alternatifs, on peut augmenter de beaucoup la tension, sauf à accroître en conséquence l'isolement des conducteurs. Les machines sont très puissantes et d'un bon rendement. On peut monter directement les lampes sur le circuit même ou avoir pour chacune d'elles un petit transformateur (*fig.* 240). Toutes les lampes étant sur le même circuit, il est facile de les allumer d'un seul coup, ce qui est avantageux lorsqu'il s'agit d'allumage public. Quelquefois on a deux circuits séparés à haute tension, de manière que, si l'un d'eux s'éteint, on a toujours l'autre allumé.

216. **Distributions mixtes.** — *Courants continus.* — On a essayé d'avoir, avec les courants continus, les avantages de la

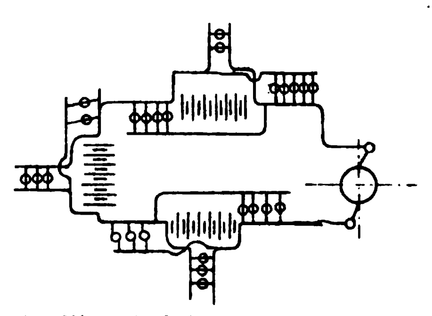


Fig. 241. — Distribution mixte par accumulateurs.

haute et de la basse tension. Dans ce but, sur la ligne à haute tension (2.000 volts), on intercale en série des batteries d'ac-

cumulateurs d'où partent les fils de la basse tension (110 à 120 volts) maintenue constante en intercalant un plus ou moins grand nombre d'éléments (*fig.* 241). Quelquefois on a deux groupes de batteries, les unes en charge, les autres en service sur l'éclairage; il en résulte qu'on peut faire marcher la dynamo génératrice d'une manière continue, et on évite ainsi, pour l'éclairage, les secousses et les variations qui se produisent pendant la charge. Enfin, dans le cas d'une surélévation momentanée de consommation, on peut mettre en décharge les deux batteries.

Au lieu d'accumulateurs, on peut se servir de transformateurs à courants continus. On peut les monter en série sur le circuit principal, qui est alimenté à intensité constante ou en dérivation, et la distribution se fait à potentiel constant. Les transformateurs sont installés chacun dans un local spécial sous la surveillance d'un électricien, ce qui augmente les dépenses d'exploitation.

Courants alternatifs. — Les courants continus donnent une tension forcément réduite ; de plus, le transformateur est

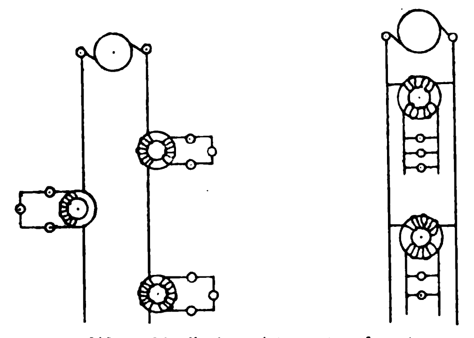


Fig. 242. — Distribution mixte par transformateurs.

toujours compliqué pour ce genre de distribution, aussi est-il préférable de recourir aux courants alternatifs. Ils peuvent être employés de plusieurs façons.

On peut transformer le courant alternatif (*fig.* 242) à haute

tension en courants alternatifs à basse tension au moyen de transformateurs dont le primaire est monté soit en série, soit en dérivation sur le circuit de l'alternateur. La distribution du courant dans chaque lampe peut se faire en dérivation ou en série. De là quatre combinaisons possibles ayant chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Avec la distribution par transformateurs en série et par lampes en série, si l'alimentation se fait à courant constant à l'alternateur, elle se fera de même sur le conduit secondaire, quel que soit le nombre de lampes allumées. De même, si tous les appareils sont montés en dérivation, les transformateurs par rapport au circuit principal et les lampes par rapport au circuit secondaire, la distribution est à voltage constant. Dans les autres cas, l'autorégulation n'existe pas. Il peut y avoir un transformateur par branchement; mais alors, comme il travaille rarement à pleine charge, le rendement est faible. On préfère, le plus souvent, avoir quelques transformateurs installés dans des sous-stations; le rendement est meilleur.

Il existe des dispositifs permettant de faire varier à distance le nombre des transformateurs en service et par suite de supprimer ceux qui travaillent à trop faible charge.

Avec le mode de distribution par transformateurs ordinaires, on se trouve dans l'obligation d'employer des lampes à courants alternatifs ; mais on peut, tout en conservant les avantages de la distribution à haute tension, avoir des courants continus. Avec les courants polyphasés, il est toujours facile, au moyen d'un moteur polyphasé, d'obtenir des courants continus, soit qu'il actionne une dynamo à courants continus séparée ou soit que lui-même porte un enroulement en conséquence. Le rendement de ces moteurs à pleine charge est élevé, 90 0/0; mais, malgré tout, le rendement final est assez faible, les frais sont augmentés du fait qu'il faut surveiller le moteur générateur.

On commence à adopter les redresseurs de courants alternatifs en courants continus ; le rendement est assez élevé (85 à 90 0/0). Les appareils d'éclairage sont montés en série, et leur réglage, quoiqu'un peu plus difficile qu'avec les courants continus ordinaires, se fait encore assez facilement. Ce dispositif est assez répandu en Angleterre.

§ 3. — Appareils complémentaires

217. Interrupteurs. — *Métalliques.* — Les interrupteurs de courant jouent le rôle de robinet. On doit donc autant que possible en avoir un par lampe et par circuit. Le principe de ces appareils consiste à assurer la continuité du conducteur, sur une certaine longueur, au moyen d'une partie mobile. Ils doivent satisfaire à la double condition de ne donner lieu à aucune résistance supplémentaire et de ne laisser aucun arc subsister après la rupture du circuit.

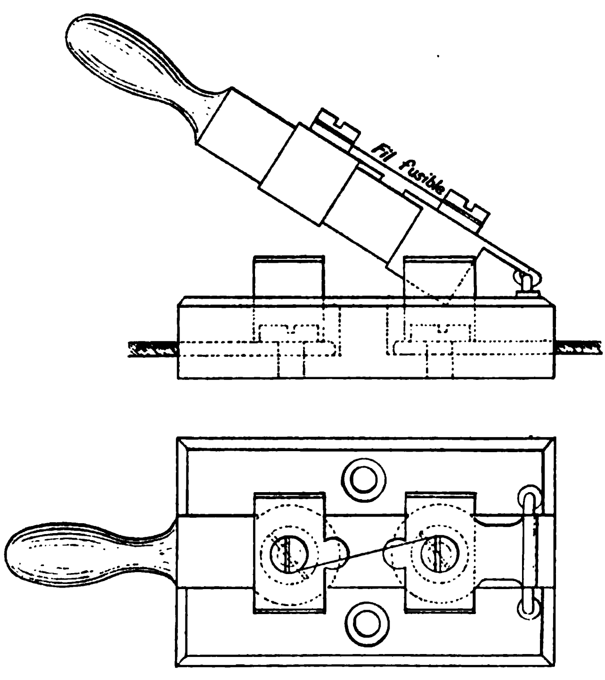


Fig. 243. — Interrupteur unipolaire à couteau.

Les interrupteurs se font de diverses manières : à *cheville*

ou *couteau*, dans lesquels une lame ou cheville métallique avec poignée en matière isolante vient s'intercaler dans l'espace laissé libre par les extrémités du conducteur (*fig.* 243); on a encore le système à *manette* ou à *verrou*, où une lame, par un mouvement de rotation ou de translation, vient reposer sur des contacts reliés aux conducteurs (*fig.* 244 et 245). Tout le système repose sur une plaque isolante. A la rupture, très souvent un ressort intervient pour séparer la partie mobile de la partie fixe de l'interrupteur, évitant ainsi toute position intermédiaire.

Les interrupteurs sont unipolaire (*fig.* 243), bipolaire (*fig.* 244)

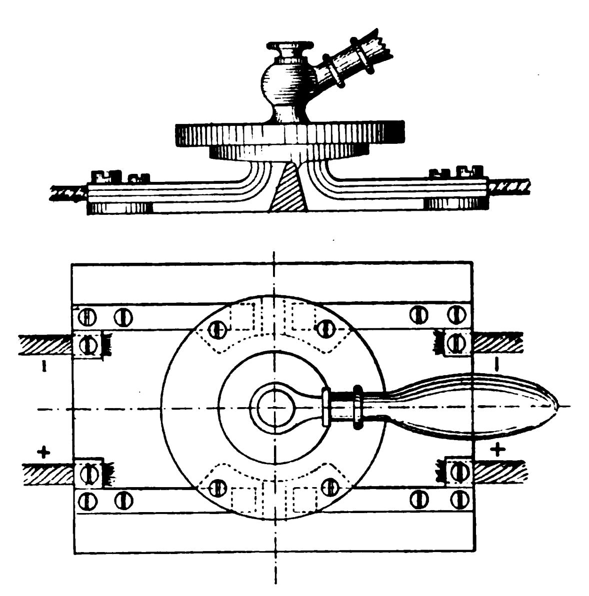


Fig. 244. — Interrupteur bipolaire à manette.

ou tripolaire, suivant qu'ils coupent simultanément un, deux ou trois conducteurs. La manœuvre des interrupteurs doit se faire très vite, et les surfaces de contact doivent être très propres.

Liquides. — Pour les hautes tensions, avant de produire la rupture, il est nécessaire d'augmenter la résistance du circuit, de manière à rendre très faible l'action de l'étincelle de rupture. On emploie dans ce but des interrupteurs à liquide (Marcel Despretz) où deux lames en plomb, plongées dans de l'eau acidulée, forment les extrémités du conducteur; l'une d'elles est mobile; il suffit de la retirer progressivement de l'eau en l'éloignant de l'autre pour assurer la rupture. Dans le système Ganz, les conducteurs sont prolongés par des barres inégales plongeant dans un vase à mercure; il suffit d'abaisser le vase pour augmenter la résistance avant de produire la rupture.

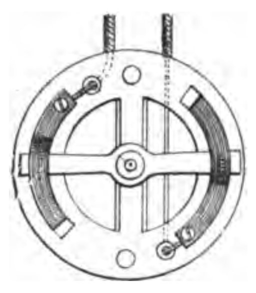
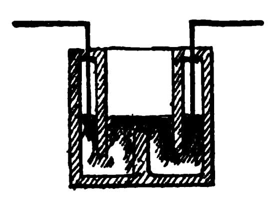


Fig. 245. — Interrupteur.

On peut encore citer l'interrupteur liquide de Bouchet (*fig.* 246), qu'on peut appliquer à tous les circuits. Il se compose d'un récipient étanche en matière isolante séparé dans le milieu, sur une portion de sa hauteur, en deux parties. On obtient ainsi deux augets qu'on relie aux deux portions de circuit. Si on introduit dans ces augets des plongeurs de manière à ce que le mercure s'élève au-dessus de la cloison, on établira la continuité du circuit; la manœuvre inverse amène la rupture.



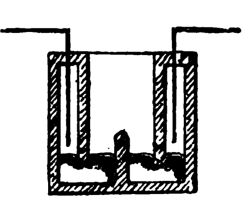


Fig. 246. — Interrupteur liquide.

Lampes à incandescence. — Généralement les lampes à incandescence ont chacune un interrupteur de courant

monté à l'extrémité des conducteurs. Le principe est le même que précédemment. C'est ainsi que, dans l'interrupteur à clé d'Edison (*fig.* 247), les extrémités d'un des câbles sont reliées à deux pièces isolées formant entonnoir dans lequel un cône mobile vient s'appuyer lorsque le commutateur est fermé. Le déplacement du cône est obtenu au moyen d'un ressort intérieur portant à son extrémité une vis se déplaçant dans une rainure hélicoïdale ménagée sur la clé et pouvant se fixer dans un cran sur la rainure. Suivant la

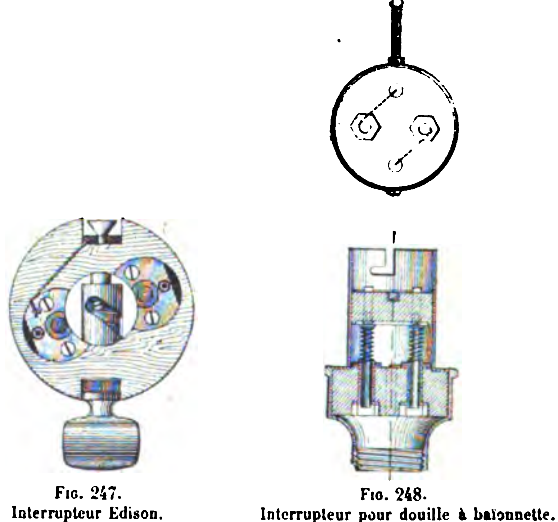


Fig. 247.
Interrupteur Edison.

Fig. 248.
Interrupteur pour douille à baïonnette.

position de la clé, le ressort tendu ou comprimé appuie ou sépare le cône de l'entonnoir.

Un autre dispositif moins volumineux consiste à intercaler (*fig.* 248) dans la douille de la lampe un cylindre mobile en matière isolante traversé par deux tiges conductrices, qui, dans une certaine position de la manette extérieure, assure la continuité du courant, et, dans celle à 90°, interrompt le circuit. Deux ressorts appuient les tiges contre les contacts de la lampe. Il existe d'autres modèles ; mais ce qu'il faut

surtout, c'est que l'interrupteur puisse s'employer avec un système de lampe quelconque.

218. Commutateurs. — Les commutateurs ont pour but de faire passer le courant d'un circuit dans un autre. Ils servent surtout lorsqu'on veut alimenter divers circuits avec des machines différentes ou un même circuit avec plusieurs machines. On les utilise encore pour le fonctionnement des rhéostats, des accumulateurs, pour permettre de faire varier le nombre des éléments du rhéostat ou de la batterie Les commutateurs servent également pour l'allumage d'un groupe de lampes, concurremment avec l'extinction d'un autre groupe (*fig.* 249).

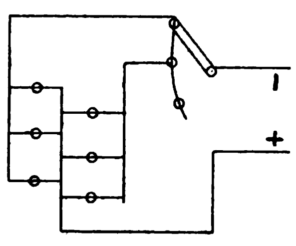


Fig. 249. — Commutateur.

Un commutateur des plus simples consiste à avoir deux séries de barres verticales et horizontales séparées électriquement; aux points de croisement, il suffit d'intercaler une cheville pour faire communiquer les deux barres entre elles; de là un nombre de combinaisons considérable. On a

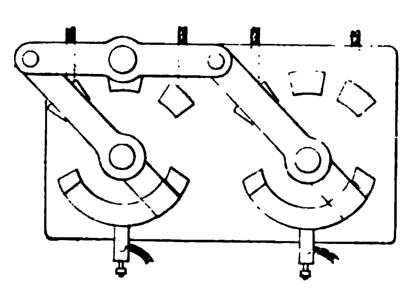


Fig. 250. — Commutateur bipolaire.

encore le système bipolaire, qui n'est autre que deux commutateurs ordinaires réunis par une bielle et manœuvrés simultanément (*fig.* 250).

Les commutateurs pour accumulateurs et résistance, ou *additeurs*, comme on les appelle quelquefois, sont formés par une série de plots ou contacts reposant sur une plaque isolante, sur lesquels on peut placer successivement la manette de contact. Suivant le plot sur lequel elle repose, on fait varier le nombre de spires ou d'éléments. Il faut surtout empêcher la plaque mobile de rester à cheval sur deux plots; divers dispositifs ont été imaginés dans ce but.

219. Rhéostats. — Les rhéostats ne sont autres que des résistances auxiliaires formées de fils de longueur variable intercalés sur un circuit dont on veut modifier le régime ou dont le régime variable doit être ramené à la même valeur. Sur le circuit des lampes à arc, les rhéostats en régularisent le fonctionnement, formant en quelque sorte volant. Sur celui des lampes à incandescence, ils ont pour but de maintenir le voltage constant. On emploie pour leur construction des métaux assez résistants, comme le ferro-nickel, le maillechort, qu'on enroule en forme de bobine sur un cadre en fonte; l'isolement étant obtenu par des pièces de porcelaine ou des feuilles d'amiante, un curseur

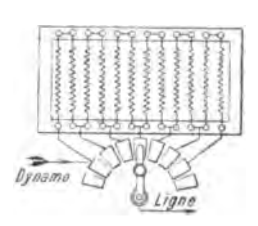


Fig. 251. — Rhéostat.

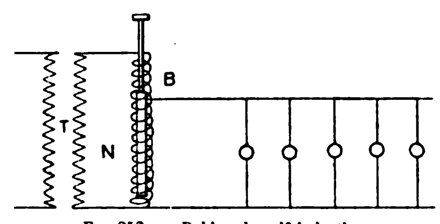


Fig. 252. — Bobine de self-induction.

mobile permet de faire varier la longueur de fil nécessaire. On leur donne également la forme de ressort à boudin monté sur un cadre rectangulaire (*fig.* 251) ; au moyen d'un contact

mobile, on intercale sur le circuit un plus ou moins grand nombre de spires. Il faut, chaque fois qu'on veut faire varier la longueur du rhéostat, que le déplacement du contact se fasse sans étincelles, c'est-à-dire qu'il doit toujours y avoir continuité du courant.

Au lieu de métaux, on peut employer d'autres matières, comme des baguettes de charbon, des bâtons de silicium agglomérés, qu'on monte sur des supports incombustibles. On peut du reste adopter toutes les matières assez résistantes ; on donnera la préférence à celle dont la résistance reste constante quel que soit le réglage. On trouve également dans le commerce, pour les lampes, des rhéostats formés de plaques de fonte sur lesquelles adhèrent les fils métalliques, ferro-nickel ou fer, enrobés dans une substance isolante en émail.

Dans les lampes à courants alternatifs, on remplace le rhéostat par une bobine en fil de cuivre B avec noyau en fil de fer N, qu'on enfonce plus ou moins dans la bobine, de manière à faire varier la valeur de la force contre-électromotrice (*fig.* 252). On a encore la forme de la figure 253, où un noyau de fer doux est entouré d'une bobine en fil de cuivre fixe et d'une gaine en cuivre mobile, qui sert à modifier la self-induction de la bobine montée en série sur le circuit. L'emploi des bobines de self-induction présente une économie notable sur celle des rhéostats.

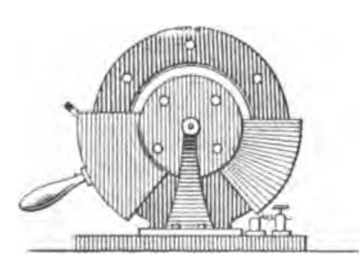


Fig. 253. — Bobine à réaction.

Le calcul d'un rhéostat revient à déterminer la longueur de fil nécessaire pour absorber, avec une section donnée, le voltage disponible ; on vérifie ensuite si l'échauffement n'a rien d'excessif.

220. Coupe-circuits. — Sur chaque circuit, il est indispensable de monter des appareils de sûreté destinés à interrompre

le courant lorsque son intensité devient par trop grande, généralement le double de l'intensité normale. On évite de cette façon les détériorations des appareils et même des incendies.

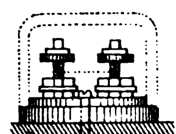


FIG. 254. — Coupe-circuit.

Ces appareils ou coupe-circuits sont basés sur la propriété qu'ont les métaux ou les alliages (60 à 65 de plomb pur, 37 à 33 d'étain et un peu de cuivre) de fondre lorsque la densité dépasse une certaine valeur. Généralement formés par des fils de 30 à 150 millimètres de long, suivant la tension, ils sont réunis au circuit au moyen de bornes à vis avec œillets de serrage (*fig.* 254) ou de bouchons. Leur diamètre est donné par la formule de Preece :

$$I = K\sqrt{d^3},$$

où I est l'intensité double du courant normal; d, le diamètre en millimètres, et K, un coefficient qui, pour les différents métaux employés et pour des diamètres de 0,1 à 1 millimètre, a les valeurs suivantes :

MÉTAL	LONGUEUR DE 30mm	LONGUEUR DE 150mm	TEMPÉRATURE DE FUSION
Cuivre...............	80	69,75	1.054
Argent et aluminium.	60 et 59,2		1.020 à 1.000
Maillechort et platine	40,8 et 40,4		1.800 à 2.000
Plomb et étain.......	10,8 — 12,8	9,5 — 11,5	335 — 226
Alliages de 2 Pb et 1 Sn	10.3	8,25	180

Pratiquement, pour le plomb, on compte 6 à 8 ampères par millimètre carré de section, soit 12 à 16 ampères pour la fusion du métal. Les alliages de 3 de Pb et 2 de Sn fondent (Piazzoli) pour une densité de courant de 15 à 30 ampères par millimètre carré et pour des fils de 2mm,5 à 0mm,5 de diamètre. La fusion possible d'un plomb ne doit pas donner lieu à la formation d'un arc, ni à la projection de métal au dehors; de plus, ses supports doivent être incombustibles. On doit

monter sur les câbles principaux un fil fusible par fil et sur les branchements, lorsqu'ils atteignent une certaine importance, 6 ampères généralement, chiffre qui correspond à l'intensité maxima que peut supporter un fil de cuivre de $0^{mm},75$.

La figure 255 représente un plomb fusible pour haute tension; A et B sont deux pièces en porcelaine superposées, celle du haut est mobile; *a*, *a* sont deux ouvertures coniques recevant le courant et dans lesquelles plongent des coins *b* réunis au plomb fusible. On peut donc sans danger remplacer le plomb pendant la marche. Outre les plombs fusibles, il existe encore des coupe-circuits magnétiques dont le fonctionnement est facile à concevoir.

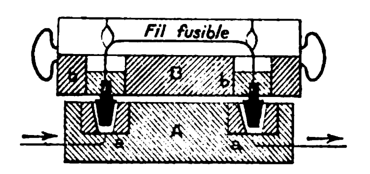


Fig. 255. — Coupe-circuit pour haute tension.

221. Parafoudre. — Sur les lignes aériennes, il est nécessaire d'installer, de distance en distance, des paratonnerres qui ont pour but de protéger contre la foudre les appareils réunis par les conducteurs aériens.

Le plus simple consiste à placer vis-à-vis, à 1 millimètre environ, deux pièces métalliques communiquant l'une avec la terre, l'autre avec la canalisation. La décharge atmosphérique a une tension suffisante pour déterminer la formation d'un arc voltaïque entre les deux pièces métalliques qui reçoivent ainsi toute la décharge. Avec les hautes tensions, ce dispositif est insuffisant, car l'arc, une fois formé, peut être maintenu par le courant de haute tension.

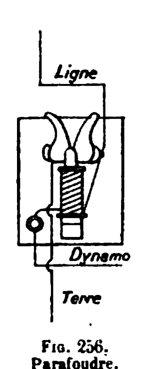


Fig. 256. Parafoudre.

Dans le parafoudre pour haute tension de Thomson-Houston (*fig.* 256), on a un électro-aimant en série, entre les pôles duquel on place deux lames dont l'écartement va en augmentant de bas en haut. Une des lames est reliée au circuit général, l'autre est à la terre. Si une décharge atmosphérique se produit, un arc se forme entre les deux

lames; mais le flux magnétique le souffle vers la pointe et l'éteint.

Ce système a l'inconvénient d'introduire une self-induction dans le circuit; aussi, pour la supprimer, on peut réunir le circuit de l'électro à celui de la lame reliée à la terre; le fonctionnement est le même. Il existe un grand nombre de paratonnerres, chaque constructeur a le sien; mais ils doivent tous satisfaire à certaines conditions : être très simples, sans self-induction, à organes fixes autant que possible, et être reliés à la terre par un fil de section suffisante. On doit les munir, en outre, d'un interrupteur permettant de les séparer de la ligne.

222. Indicateurs de terre. — Malgré tous les soins apportés à l'installation de la ligne, il peut se produire des pertes à la terre; elles sont faciles à signaler au moyen du dispositif suivant (*fig.* 257) : on a deux lampes à incandescence montées en série sur un même circuit relié aux deux conducteurs principaux; le milieu de ce circuit est raccordé à la terre. Tant que la ligne reste isolée, les deux lampes brûlent sans éclat; si, au contraire, une perte a lieu, une des lampes devient incandescente, indiquant le câble à la terre. Souvent, on intercale une sonnerie qui se met à tinter lorsque le défaut d'isolement se produit.

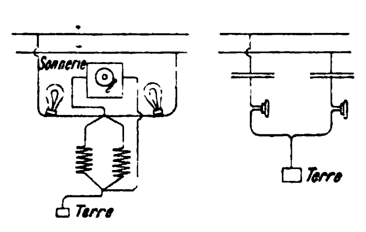


Fig. 257. — Indicateurs de terre.

Pour les courants alternatifs, on a l'indicateur de Picou (*fig.* 257), dans lequel les câbles sont reliés chacun à une borne d'un condensateur dont l'autre borne va au sol avec intercalation d'un téléphone ou d'un galvanomètre ; dès qu'une perte se produit sur un conducteur, le courant à la terre actionne le téléphone ou le galvanomètre relié à l'autre conducteur.

223. Appareils de mesure. — *Ampèremètres.* — Les appareils de mesure sont de plusieurs sortes : les uns sont destinés à

indiquer, à chaque instant, l'intensité du courant, d'autres le voltage entre deux points déterminés, et enfin il y a ceux qui enregistrent la quantité d'électricité produite ou consommée.

La mesure de l'intensité se fait au moyen d'ampèremètres dont le principe consiste à obtenir le déplacement relatif de deux champs magnétiques : l'un est fourni par le courant à mesurer, c'est-à-dire qu'il est variable à chaque instant ; l'autre est fixe, il est produit par un aimant ou par un courant constant. Une force antagoniste graduée fait équilibre à l'action des deux champs, et c'est en la mesurant qu'on détermine la valeur du champ variable et par suite l'intensité du courant à mesurer.

Lorsque le champ fixe est produit par un aimant, on donne à l'appareil le nom plus spécial de *galvanomètre*. Ce n'est que la reproduction de l'expérience d'Œrstedt, dans laquelle une aiguille aimantée, soumise à l'action d'un courant, se met en croix avec lui, avec cette différence toutefois que, dans le galvanomètre, la force antagoniste s'oppose à ce mouvement et permet de mesurer la valeur du déplacement et par suite l'intensité du courant.

Dans le cas où l'aimant permanent est remplacé par un courant, on lui donne le nom d'*électrodynamomètre ;* l'appareil est formé par deux cadres dont l'un est fixe, l'autre mobile. Si les deux circuits sont parcourus par le courant à mesurer, le déplacement sera proportionnel au carré de l'intensité. L'avantage de ce dispositif est qu'il peut servir pour les courants alternatifs ; le changement de sens ayant lieu dans chaque circuit, le déplacement relatif ne change pas.

Les ampèremètres du commerce doivent être robustes, simples, et d'une lecture rapide. Ils doivent donner les indications constantes sur toute l'étendue de l'échelle, être d'une apériodicité suffisante et ne pas se laisser influencer par les champs voisins. Les ampèremètres se trouvent montés en série sur le courant à mesurer, à moins qu'il ne soit tróp intense, auquel cas on les met en dérivation ; leurs indications sont permanentes.

Voltmètres. — On peut se servir comme voltmètres d'ampèremètres, avec cette différence que le courant qui parcourt l'ap-

pareil est très faible et que sa résistance est très élevée; en réalité, on mesure l'intensité qui parcourt le circuit du voltmètre; mais, comme cette intensité est proportionnelle au voltage, la résistance étant constante, il est facile d'en déduire le voltage. L'appareil est du reste gradué en conséquence.

Les mesures de voltage peuvent se faire au moyen d'*électromètre*. Cet appareil, en principe, se compose de 4 plaques doubles en forme de quart de cercle; on relie deux à deux les secteurs opposés. Entre les plaques se déplace une aiguille symétrique horizontale suspendue à un double fil de coton. Pour faire une mesure, il suffit de relier deux des plaques et l'aiguille à un point au potentiel V_1, les deux autres plaques sont reliées au potentiel V_2; il en résulte une déviation de l'aiguille qui mesure la valeur $V_1 - V_2$. Cet appareil peut servir indifféremment pour les courants continus ou alternatifs.

On peut du reste employer encore, pour tous les courants, les *voltmètres thermiques* basés sur la dilatation d'un fil fin assez long en platine, parcouru par un faible courant. Les variations de longueur amplifiées se transmettent à une aiguille se déplaçant sur un cadran. Les indications sont proportionnelles au carré de l'intensité, et par suite, dans le cas de courants alternatifs, à la moyenne des carrés des différences de potentiel.

Les voltmètres comme les ampèremètres doivent être étalonnés de temps à autre, leurs indications se modifiant à la longue. Les voltmètres ne doivent pas rester en charge; les mesures se font par intermittence.

Quand, avec un appareil de mesure de faible puissance, on veut mesurer des courants intenses, on a recours à des réducteurs ou shunts. Dans le cas d'un ampèremètre, le shunt n'est autre qu'un conducteur de débit déterminé monté en dérivation sur le courant de l'ampèremètre. Dans le cas d'un voltmètre, ce réducteur est monté au contraire en tension avec lui.

Compteurs. — Les appareils précédents ne servent que dans les usines, où ils donnent à chaque instant des renseignements précis sur le fonctionnement des divers appareils;

il est nécessaire par contre, sur les circuits d'abonnés, de déterminer la quantité d'énergie dépensée.

Lorsque l'électricité est vendue à l'heure, on peut se contenter d'un compteur horaire enregistrant la durée du fonctionnement de chaque lampe ou de chaque circuit, s'il y a lieu. Le principe est très simple : un mouvement d'horlogerie actionne autant de compteurs qu'il y a de circuits, mais seulement lorsqu'ils sont en service; il suffit pour cela d'embrayer le compteur par la fermeture de l'interrupteur. Ce système n'est possible qu'avec les installations peu importantes et on préfère les compteurs électriques.

Ils sont de deux sortes : ceux qui ne totalisent que la quantité de courant consommée : ce sont des ampèremètres enregistreurs, qui ne deviennent de vrais compteurs que si la force électromotrice reste constante. Les autres, au contraire, tiennent compte des variations dans le voltage et l'intensité : ce sont des wattmètres enregistreurs.

Comme *ampèremètres*, on se sert quelquefois de compteurs chimiques; le courant décompose une solution saline et une des électrodes reçoit un dépôt qui augmente son poids; si, par un moyen quelconque, on mesure le poids du métal déposé, on pourra en déduire la quantité de courant passé. Dans l'ampèremètre Aron, on a deux pendules battant la seconde, mais leurs indications enregistrées en sens contraire sur un cadran s'annulent en temps ordinaire. Pour pouvoir mesurer l'intensité d'un courant, l'un des pendules porte un barreau aimanté se déplaçant au-dessus d'un solénoïde parcouru par le courant; il en résulte que ses déplacements sont modifiés et que le pendule ordinaire enregistre seul tant que le courant passe. Il suffit de graduer l'appareil par comparaison pour obtenir des indications précises.

Les *wattmètres* enregistreurs ne sont autres que des électrodynamomètres, c'est-à-dire qu'ils comportent, le plus souvent, une bobine fixe et une bobine mobile parcourues par le courant total ou une fraction de ce courant, suivant le cas. Si l'action du courant sur la bobine mobile est continue, il en résulte un mouvement de rotation permanent de cette dernière. L'électrodynamomètre fonctionne comme un moteur; il suffira donc d'enregistrer le nombre de tours pour avoir

l'énergie consommée. Il faut empêcher toute accélération et les différents compteurs de ce genre diffèrent par la manière de l'éviter, soit au moyen d'un disque se déplaçant entre les branches d'un aimant ou par tout autre système. L'action du courant sur la bobine mobile peut être intermittente; il en résulte qu'elle est animée d'un mouvement oscillatoire plus ou moins rapide; il suffira donc d'enregistrer le nombre des oscillations; il n'y a plus accélération; mais il faut éviter qu'à chaque interruption du courant il se produise des étincelles.

Le nombre des compteurs est très considérable; quelques-uns d'entre eux constituent de véritables mécanismes d'horlogerie; mais, d'une manière générale, un compteur doit être d'un fonctionnement simple et très régulier; il doit être d'un volume restreint et d'un prix d'achat peu élevé.

224. Tableaux. — Les différents appareils de mesure, de distribution et de sûreté sont groupés sur un plan vertical qui constitue le tableau de distribution. Il est placé dans l'usine même, à proximité des machines, de manière que, d'un seul coup d'œil, le mécanicien puisse suivre la marche de toute l'installation. Derrière le tableau, arrivent généralement les divers conducteurs des machines et des lampes aboutissant aux commutateurs, qui doivent être placés à hauteur d'homme autant que possible pour en faciliter la manœuvre; chaque circuit est muni de son interrupteur, dont l'accès doit être commode à cause des manœuvres fréquentes. Il faut avoir soin de grouper ensemble les appareils de même nature, numérotés avec soin et portant sur chaque câble l'indication du sens du courant. Au-dessus des commutateurs, on dispose les appareils de mesure, dont la lecture doit être très rapide. Enfin, tout à fait dans le haut, on installe les rhéostats des circuits des lampes, les coupe-circuits, en un mot tous les appareils dont la manipulation est moins fréquente.

Les tableaux doivent être construits en matériaux incombustibles, sinon toutes les pièces parcourues par un courant doivent être montées sur des supports isolants et incombustibles; ces pièces doivent être parfaitement visibles, les

barres de connexion se font en métal nu. On fait quelquefois les tableaux en bois à triple épaisseur et mieux en marbre ou en ardoise. Il est préférable de placer le tableau à une certaine distance du mur, de manière à laisser à l'arrière les connexions bien apparentes, ce qui facilite leur entretien; de même un tableau ne doit ni toucher au plancher ni au plafond et en être éloigné de 30 à 60 centimètres.

§ 4. — Montage des appareils d'éclairage

225. Supports des lampes. — *Lampes à arc.* — Lorsqu'il s'agit d'éclairage intérieur, les boisseaux des lampes à arc sont fixés à un tube creux solidement assujetti au plafond. Le tube est percé de deux trous pour l'entrée et la sortie du câble. On remplace quelquefois la tige creuse par un simple crochet sur lequel vient s'appuyer un anneau fixé au boisseau de la lampe. Ces dispositifs très simples, où la lampe reste à demeure, ne conviennent que pour les faibles hauteurs, il faut en outre recourir à des échelles pour changer les charbons.

Si on veut faire varier la hauteur, il suffit de soutenir les lampes par un câble s'enroulant sur deux poulies, l'une fixe, l'autre mobile; un contrepoids attaché à cette dernière fait équilibre à la lampe. Il faut le soulever pour faire descendre l'appareil et inversement. Au lieu de recourir à des câbles spéciaux pour supporter le régulateur, on utilise parfois les conducteurs du courant eux-mêmes. On peut adopter le système des suspensions ordinaires avec contrepoids mobile au-dessus de la lampe. Enfin, au lieu de contrepoids, on peut enrouler le câble de suspension sur un petit treuil disposé contre un mur du local éclairé.

Dans les espaces découverts, la lampe repose sur des supports spéciaux. Les dispositifs sont analogues à ceux des appareils à gaz, la lampe est enfermée dans une lanterne ordinaire; le système est assez répandu, mais on peut supprimer la lanterne et se contenter d'enfermer l'arc dans un globe, comme dans le modèle de la Ville de Paris (*fig.* 258). La lampe est montée sur candélabre, les



Fig. 258.

Potence.

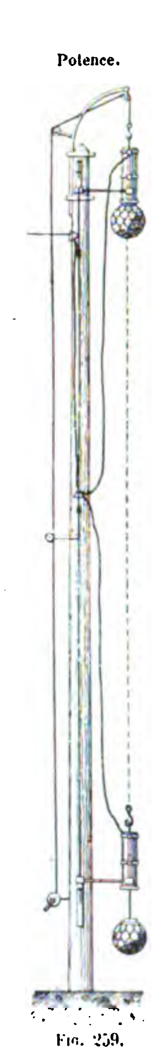


Fig. 259.

Pylône.

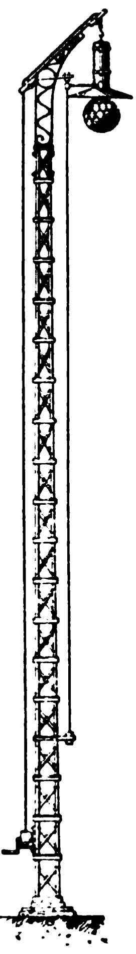


Fig. 260.

câbles sont à l'intérieur, avec interrupteur dans le bas, le chapiteau forme réflecteur. Le changement des charbons se fait au moyen d'une échelle. Souvent, on supprime le candélabre et la lampe est fixée au milieu à un câble tendu soit entre deux candélabres, soit entre les façades des maisons. Pour changer les crayons, on descend la lampe au moyen d'un câble souple.

Il en est de même lorsque au lieu de candélabres on se sert de potences ou de pylônes, suivant que le poteau est en bois ou en fer. Une poulie reçoit le câble de suspension de la lampe qui vient s'enrouler autour d'un treuil en bas du poteau (*fig.* 259). Les fils conducteurs, aériens le plus souvent, arrivent au milieu de la potence et sont prolongés jusqu'à la lampe par des fils mobiles d'une longueur suffisante pour la suivre dans ses déplacements. Lorsque la hauteur devient importante, il faut avoir soin de munir le mât de tringles directrices, la lampe porte alors deux anneaux montés à l'extrémité de tiges horizontales et s'engageant dans les tringles. En Belgique, la potence bascule autour de sa base, ce qui permet de rendre fixe la lanterne. Les poteaux en bois sont employés dans les installations économiques; mais, très souvent, on emploie des pylônes en treillis métallique montés sur un dé en pierre (*fig.* 260).

Lampes à incandescence. — Les rares lampes à incandescence employées pour l'éclairage extérieur se placent dans des lanternes et plus simplement à l'extrémité des consoles formées par un bras recourbé; un abat-jour protège la lampe contre la pluie.

A l'intérieur, la douille se place à l'extrémité des fils conducteurs dont la souplesse permet de leur donner les dispositions les plus variées. La liaison des câbles et de la douille doit se faire de manière à éviter tout contact, c'est-à-dire que les conducteurs ne sont dénudés que juste ce qu'il faut pour être reliés aux ressorts de la douille. Cette dernière peut se visser à l'extrémité d'un tube ayant la forme de suspension, de bras fixe, de lustres, d'applique de té de lampe mobile, etc., en un mot toutes les formes d'appareils d'éclairage. Les câbles sont dissimulés à l'intérieur du tube,

qu'on fixe au plafond ou contre un mur au moyen d'un raccord maintenu par des vis sur un tampon en bois scellé avec du plâtre. Le tampon est dissimulé par une rosace ou tout autre appareil d'ornementation. Dans le cas de lampes sus-

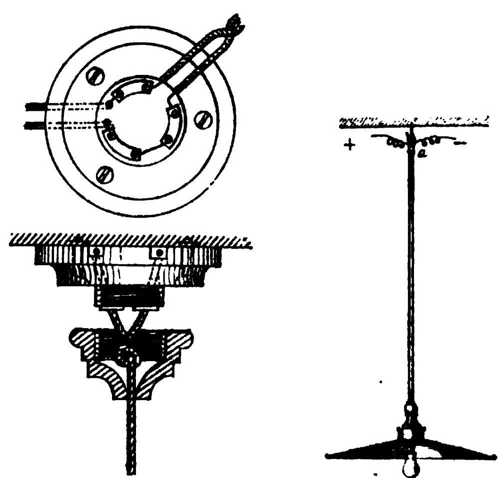


FIG. 261. — Montage sur raccord. FIG. 262. — Montage sur crochet.

pendues, très souvent on supprime le tube et la lampe est maintenue par le câble d'amenée du courant; une rosace (*fig.* 261) ou un simple crochet (*fig.* 262) vissé sur un tampon maintient tout le système, à la condition, toutefois, de nouer le câble pour le faire reposer sur le crochet ou sur la rosace fixés au plafond.

226. Lanternes. — Globes. — *Lampes à arc.* — L'arc voltaïque est rarement employé sans être enfermé dans une lanterne ou un globe, à moins d'être placé à une hauteur considérable; le verre du globe ou de la lanterne est préparé de manière à atténuer le trop grand éclat de la lumière; il en résulte bien une certaine perte provenant de l'absorption du verre, mais on obtient plus d'uniformité dans l'éclairage.

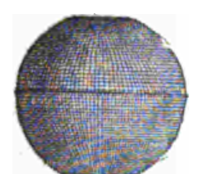
Au début, le verre transparent était recouvert d'une simple

couche d'oxyde de zinc, mais à ce procédé par trop primitif a succédé le verre émaillé, puis les verres opalins, clissés, ondulés, dont le pouvoir absorbant est un peu moindre.

Les lanternes ont une forme parallélipipédique, pyramidale ou tronconique, il y a autant de modèles presque que d'installations. Deux des faces sont mobiles pour le remplacement des charbons.

Lorsqu'il s'agit d'un éclairage plus décoratif, on remplace les lanternes par des globes qui affectent les formes les plus diverses. Ils compliquent forcément le régulateur, car il faut munir ce dernier des organes nécessaires pour les soutenir. Le plus souvent, le globe est maintenu par un cercle métallique qui s'accroche au boisseau même de la lampe, il enveloppe complètement l'appareil, il faut donc le retirer pour le changement des crayons.

Dans quelques lampes, on peut le faire coulisser le long des porte-charbons. Quelquefois le globe est fixé aux tiges du porte-charbon, il faut alors ménager les encoches pour le passage de ces tiges, ce qui augmente sa fragilité. Quelques constructeurs lui donnent des dimensions fort exiguës; on n'est plus obligé de le déplacer pour la mise en place des crayons. Quand le globe n'entoure pas les crayons, c'est-à-dire présente une échancrure dans le bas, il faut le



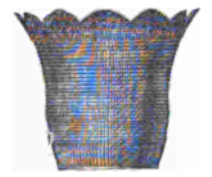


Fig. 263. — Verres holophanes.

munir au-dessous d'une coupe ou cendrier destiné à recevoir les bouts de crayon qui peuvent s'échapper.

Dans quelques installations, les globes sont fixes, on les fait alors en deux parties dont l'une est mobile autour d'une charnière pour le changement des crayons. C'est le cas des globes de la Ville de Paris; les charnières et les cercles d'em-

boîtement des globes sont dans le plan de la lyre, de manière à confondre les ombres portées.

Enfin, on se sert quelquefois de globes *holophanes* (*fig.* 263), qui, tout en diffusant la lumière, la répartissent de la façon la plus favorable. Ils peuvent être simplement diffuseurs ou diffuseurs-distributeurs. Ce résultat est obtenu au moyen de cannelures prismatiques disposées les unes dans le sens des méridiens, les autres dans celui des parallèles, soit à l'intérieur ou à l'extérieur. La section d'une cannelure présente deux plans, l'un réfléchissant, l'autre réfractant la lumière. On donne à ces appareils la forme de globes diffuseurs pour l'extérieur, de cônes garde-vue rabattant la lumière sur le plan horizontal et de tulipes. L'absorption de lumière ne dépasserait pas 15 0/0 à la condition de les tenir dans un état parfait de propreté. Tous les globes, du reste, doivent être essuyés avec soin et lavés de temps à autre à l'eau de savon et à la potasse.

Lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence sont presque toujours employées à feu nu, très souvent on les

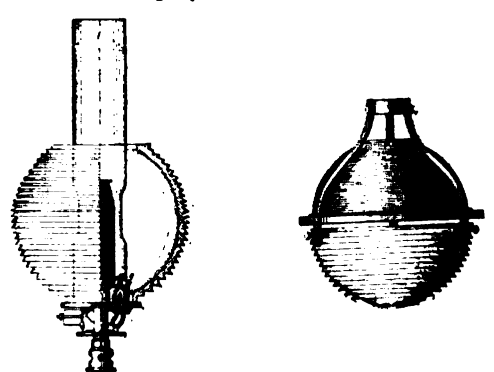


Fig. 264. — Globes Frédureau.

entoure d'une tulipe en cristal ou verre de couleur servant plutôt pour l'ornementation. La lampe est alors orientée dans une direction déterminée et la tulipe dissimule le filament, dont l'éclat est trop vif. On peut du reste remplacer

la tulipe par toute autre forme appropriée à la décoration du local éclairé.

Quelquefois, on emploie avec ces lampes les diffuseurs *Frédureau*, qui ont pour but l'orientation de la lumière dans une direction déterminée.

Ils sont formés (*fig.* 264) par une enveloppe en cristal munie sur sa surface d'anneaux prismatiques perpendiculaires ou parallèles à l'axe vertical du globe ; ils sont établis suivant deux dispositions différentes :

1° La face supérieure des anneaux forme un paraboloïde de révolution dont le foyer est au centre du globe ; si l'autre face est perpendiculaire à l'axe, il en résulte qu'on obtiendra un faisceau lumineux de rayons parallèles ;

2° Les faces supérieures sont coniques, formant avec les rayons issus du foyer un angle au moins égal à l'angle limite de réflexion ; les faces inférieures devraient être taillées suivant des portions de tore, on se contente de les incliner suivant des surfaces coniques ayant le foyer lumineux comme sommet. On obtient alors un cône lumineux sur le plan horizontal.

Le projecteur joue le rôle de réflecteur ; en effet, on a avec une lampe à incandescence les résultats suivants :

INTENSITÉ	LAMPE NUE	AVEC PROJECTEUR
Sur la verticale............	10,0 bougies	6,70 bougies
A 45°......................	13,5 —	13,50 —
Sur l'horizontale..........	19,0 —	27,00 —

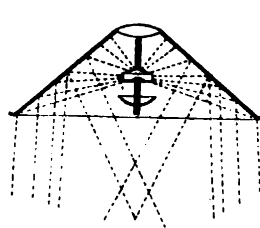
Le projecteur est en deux parties fixées dans une monture en cuivre terminée par deux crochets, la lampe est placée au centre de l'appareil. Les globes Frédureau s'emploient avec tous les systèmes d'éclairage, pourvu qu'ils aient une lumière assez vive et que la construction de l'appareil permette de bien centrer le foyer.

227. Réflecteurs. — *Lampes à arc.* — Pour l'éclairage extérieur, où il est nécessaire de ramener la lumière vers le sol, on munit les lampes de réflecteurs. Leur construction ne présente aucune difficulté, on les fait le plus souvent en tôle

recouverte d'une couche de peinture blanche ou d'émail, ils sont fixés au boisseau même de la lampe. Quand le régulateur est enfermé dans une lanterne, c'est le chapiteau blanchi qui forme réflecteur; enfin, s'il est placé sur candélabre, la lyre, qui le maintient, reçoit un chapiteau qui, tout en formant réflecteur, protège l'appareil contre la pluie.

On se sert beaucoup du réflecteur Cörper, formé par un réflecteur émaillé dont le centre, en matière réfractaire, est percé d'un orifice pour le passage du crayon supérieur. Grâce à ce dispositif, l'intensité moyenne hémisphérique s'augmente de 10 0/0 pour les lampes à courants continus et 50 0/0 pour celles à courants alternatifs; il est vrai que cette augmentation est en partie absorbée par le globe opalin entourant la lampe dont le pouvoir absorbant n'est pas inférieur à 15 et 25 0/0.

Pour obtenir dans les locaux fermés une lumière très uniforme, on renverse la lumière de l'arc vers le plafond, d'où elle est ensuite diffusée dans tous les sens. Quelques lampes ont été disposées dans ce but avec leurs organes vers le bas, mais il est préférable de recourir à des lampes ordinaires à longues tiges dont la lumière est renvoyée vers le haut. Quelquefois, au lieu de plafonds blanchis, on se sert d'une simple toile blanche, tendue au-dessus des lampes, et plus simplement de larges réflecteurs en tôle émaillée fixés au-dessus des lampes.


Fig. 265. — Réflecteur Siemens.

C'est le dispositif Siemens, adopté pour l'éclairage uniforme de grands espaces (*fig.* 265); le réflecteur tronconique, de 1 mètre à 1m,30 à la base, est formé par une toile tendue sur des cercles métalliques, elle est peinte intérieurement au blanc de céruse. L'arc alternatif est entouré d'un anneau en verre à section triangulaire en quatre ou six segments supportés par un léger cadre métallique. Le dessous de la lampe est fermé par un cendrier en fer émaillé blanchi à l'intérieur.

M. Habrowski a imaginé une série de réflecteurs donnant les avantages de l'éclairage indirect, tout en utilisant mieux

la lumière; il existe plusieurs dispositifs comportant un réflecteur principal de forme parabolique R (*fig.* 266) contre lequel les rayons lumineux arrivent soit directement, soit au travers d'un anneau en verre *a* qui les réfracte, soit après s'être réfléchis contre un réflecteur approprié *r*. Suivant le cas, le charbon positif est en haut ou en bas, un cendrier *c* arrête toute lumière directe. Les rayons lumineux ne sont réfléchis qu'une fois, ce qui explique la bonne utilisation de la lumière.

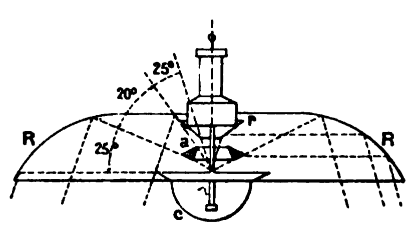


Fig. 266. — Réflecteur Habrowski.

Lampes à incandescence. — Ces lampes sont généralement munies de réflecteurs ou abat-jour en porcelaine, en tôle émaillée ou nickelée, ne présentant rien de spécial. Leur mise en place est très facile. Le réflecteur peut être supporté par un trépied reposant sur un collier fixé à la douille de la lampe dont il est indépendant. On remplace quelquefois le trépied par une virole se fixant à la douille de la lampe au moyen d'une goupille (*fig.* 262).

Dans les lampes Glöwer, une partie de l'ampoule est argentée pour réfléchir la lumière; dans d'autres, le filament est enroulé autour d'un cylindre formant miroir. On peut multiplier les dispositifs, mais il ne faut pas perdre de vue que l'intensité lumineuse se trouve augmentée dans certaines directions seulement au détriment des autres.

CHAPITRE XIII

PHOTOMÉTRIE

§ 1. — Propriétés des foyers lumineux. — Mesures

228. Considérations générales sur la lumière. — Suivant les théories actuellement admises, la lumière serait produite par les mouvements extrêmement rapides des dernières molécules des corps lumineux : l'énergie nécessaire à la production de ces mouvements vibratoires pouvant, d'ailleurs, être de nature *mécanique*, *chimique* ou *électrique*.

Les vibrations se caractérisent par leur *fréquence à la seconde* et par leur *longueur d'onde :* cette dernière valeur représentant l'espace parcouru pendant une vibration double.

La longueur d'onde λ s'exprime par la formule :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^{10}}{N} \text{ centimètres.}$$

Dans cette expression, le numérateur représente la vitesse de la lumière, soit 300.000 kilomètres, et N la fréquence de la vibration envisagée.

Suivant que la fréquence des vibrations d'une source lumineuse est plus ou moins élevée, nos sens sont différemment affectés. Pour que l'organe de la vision soit impressionné, il est nécessaire que les vibrations du corps radiant remplissent certaines conditions de fréquence ou de longueur d'onde; ces vibrations, qui sont, d'ailleurs, comprises

entre deux limites de longueur d'onde λ_1 et λ_2 assez rapprochées, sont appelées *radiations lumineuses.*

Si λ est $>$ que λ_2, les radiations successivement réparties de λ_1 à λ_2 donnent tout d'abord la sensation de la lumière rouge ; la sensation chromatique se modifie sous l'influence des vibrations, dont la longueur d'onde est de plus en plus courte : c'est ainsi que le nerf optique perçoit successivement les couleurs jaune, bleue et enfin violette, celle-ci dans le voisinage de la radiation de plus courte longueur d'onde λ_2.

Le tableau suivant fournit les caractéristiques des diverses couleurs de la lumière :

COULEURS	LONGUEURS D'ONDE λ EN MICRONS ou $0^m,000001$	FRÉQUENCE VIBRATOIRE en trillions PAR SECONDE
Rouge.......	0,620	480
Orangé......	0,583	511
Jaune.......	0,551	540
Vert.........	0,512	583
Bleu.........	0,475	628
Indigo.......	0,449	663
Violet.......	0,423	704

Les vibrations dont la longueur d'onde est supérieure à 0,620, c'est-à-dire comprises dans la zone dite de l'*infra-rouge*, tombent bien sur l'organe visuel, mais elles ne l'impressionnent pas ; elles se manifestent sous la forme *calorifique ;* celles dont la longueur d'onde est inférieure à 0,423, c'est-à-dire réparties dans la région dite de l'*ultra-violet*, n'impressionnent pas non plus l'œil humain ; elles sont donc invisibles; mais leur existence est révélée par la photographie spectroscopique. Ces dernières radiations sont appelées radiations *chimiques*.

Cependant, il ne faut pas conclure (Palaz) que l'action calorifique des radiations ultra-violettes soit nulle et que l'action chimique des radiations de l'infra-rouge le soit également, car une radiation de longueur d'onde déterminée peut

exercer, simultanément, les trois actions : calorifique, lumineuse et chimique.

Les sources de lumière blanche sont considérées comme la réunion d'un grand nombre de sources lumineuses élémentaires correspondant chacune à une vibration spéciale et dont la résultante est le phénomène impressionnant définitivement le nerf optique.

L'énergie dans le spectre. — L'existence du mouvement vibratoire est due, évidemment, à la mise en action d'une certaine quantité d'énergie. Or *Langley* a pu mesurer, au moyen de son bolomètre, la valeur de l'*énergie rayonnante* des diverses radiations de certains spectres dus à l'incandescence de la matière et établir des graphiques représentatifs de l'énergie totale répartie dans un spectre déterminé.

Pour ces graphiques, les longueurs d'onde étaient portées en abscisses, et l'énergie correspondant à chaque longueur d'onde, en ordonnées.

En considérant la partie du graphique limitée par deux ordonnées déterminées, il est possible de préciser la valeur K_n de l'énergie entre les limites des deux radiations correspondantes et rapporter cette valeur K_n à la valeur K_t correspondant à l'ensemble du graphique. Si, par exemple, on considère le graphique d'énergie correspondant au spectre solaire et qu'on mesure la surface comprise entre deux ordonnées tracées au droit de deux abscisses limitant la région des radiations lumineuses, c'est-à-dire $\lambda_1 = 0,4$ et $\lambda_2 = 0,8$, puis que l'on compare cette surface à la surface totale limitée par le graphique complet, on constate que, sur 100 joules d'énergie envoyés par le soleil, 14 seulement sont transformés en énergie lumineuse.

Rendement optique d'une source lumineuse. — Le rendement optique d'une source lumineuse peut être défini par le ra|port géométrique de l'énergie transformée en radiatio lumineuses à l'énergie totale dépensée par la source.

D'après ce qui a été expliqué précédemment, le rendeme optique du soleil ne serait, dès lors, que de 14 0/0. Il ne sera d'ailleurs, d'après les travaux de *Langley*, que de 2,5 0/

pour l'arc électrique ; 1,2 0/0 pour le bec de gaz Bengel.

Le rendement optique d'un foyer incandescent s'élève avec la température. Or, comme les procédés industriels actuels ne permettront vraisemblablement pas la production de températures très supérieures à celle de l'arc électrique, il est à craindre que les progrès à réaliser dans l'éclairage artificiel par foyers incandescents ne permettront pas de pousser le rendement optique au delà de 5 ou 6 0/0. Tout porte à croire que la véritable voie du progrès est dans l'étude de procédés tout différents de ceux utilisés jusqu'à présent : peut-être dans l'utilisation de résonateurs électriques réalisant des oscillations de longueurs d'onde convenables.

Sensibilité visuelle aux différentes vibrations. — M. *Ch.-Ed. Guillaume*, dont les travaux sur l'énergie dans les spectres font autorité, a fait remarquer que la connaissance du rendement optique, tel qu'il est défini ci-dessus, est insuffisante pour juger convenablement un foyer d'incandescence, parce que le mode de détermination de ce rendement ne tient aucun compte du degré de prédominance de certaines vibrations du spectre plus particulièrement susceptibles d'exciter la sensibilité visuelle. Il n'est pas indifférent, en effet, que l'énergie rayonnée se trouve dans telle ou telle zone de la gamme des vibrations lumineuses ; et il est bien certain, à ce point de vue, que si l'énergie est spécialement répartie sur des régions de sensibilité différente pour l'œil, chaque radiation élémentaire devrait être multipliée par un coefficient représentatif de la sensibilité de l'œil pour cette radiation. Ainsi le nerf optique est moins sensible au rouge et au violet qu'au jaune et surtout au vert. En d'autres termes, le même effet d'excitation ou de luminosité peut être réalisé par une quantité différente d'énergie suivant que la lumière est rouge, jaune, verte ou violette.

Langley, qui a étudié la répartition de l'énergie dans les différentes régions du spectre émis par quatre foyers lumineux : gaz, arc électrique, soleil, pyrophore (insecte phosphorescent), a constaté que, dans les lumières du gaz et de l'arc, le maximum d'énergie a lieu pour des longueurs d'onde

égales à 1,6 et 1,16, c'est-à-dire pour des vibrations qui sont en dehors des limites du spectre impressionnant l'organe visuel. Dans la lumière du soleil et dans celle émise par le pyrophore, le maximum a lieu, au contraire, dans la zone visible; il correspond respectivement aux longueurs d'onde 0,62 et 0,57.

D'un autre côté, la sensibilité de l'œil humain aux radiations de diverses longueurs d'onde a été également étudiée : le tableau ci-après résume quelques coefficients.

LONGUEURS D'ONDE EN MICRONS	COULEURS	SENSIBILITÉ
0,76	Rouge très sombre	1
0,65	Rouge	7.000
0,55	Jaune verdâtre	538.000
0,50	Vert	758.000
0,43	Bleu	270.000
0,40	Violet	12.800

Le maximum de sensibilité correspond ainsi à la couleur verte ; or ce maximum se rapporte précisément aux radiations du spectre solaire ayant la plus forte énergie.

Quant à la puissance minima nécessaire à la vision, elle serait, dans le vert, de $2,8 \times 10^9$ ergs par seconde.

Rendement optique réduit. — Dès lors, M. Guillaume estime que le rendement optique calculé en divisant l'énergie lumineuse par l'énergie totale doit, pour chaque spectre considéré, être affecté d'un coefficient de réduction, le maximum de sensibilité étant compté pour la valeur 1.

Partant de ce principe, il a établi un diagramme de sensibilité de l'œil suivant les longueurs d'onde et l'a fait servir à une réduction corrélative des diagrammes de Langley utilisés pour la détermination des rendements optiques. Il a ains reconnu que *les rendements optiques réduits* n'étaient plus que 0,049 pour la lumière solaire et 0,00312 pour le bec Bengel. Ces résultats mettent beaucoup plus en évidence

l'infériorité des foyers artificiels actuels relativement à l'utilisation de l'énergie vibratoire.

Rendement total. — Il convient d'observer d'ailleurs que, quelque faibles que paraissent les rendements précités, ils sont encore supérieurs au *rendement total* calculé en multipliant les valeurs correspondantes par le rendement des machines desservant chacun des foyers considérés : c'est ainsi qu'on s'aperçoit, en ce qui concerne l'arc électrique, qu'on n'utilise comme lumière que 0,35 0/0 de l'énergie du charbon brûlé dans les machines alimentant les dynamos génératrices de l'arc et que, finalement, le rendement total de l'arc desservi par machines à vapeur n'est plus que 0,0025. Si on déterminait les pertes successives inhérentes au fonctionnement des diverses lampes à combustion, on pourrait aussi bien fixer, par des considérations semblables, le coefficient de réduction à appliquer au rendement optique réduit pour obtenir le rendement total.

Équivalent mécanique des foyers lumineux. — On peut, dans la pratique courante, caractériser plus simplement les diverses sources de lumière en ne considérant que leur *rendement photogénique*, c'est-à-dire le rapport existant entre le nombre d'*unités de lumière* obtenues et la quantité d'énergie dépensée exprimée en unités mécaniques, ou bien encore en précisant la valeur de l'*équivalent mécanique* de l'intensité lumineuse égale à une unité (bougie) et obtenue avec la source considérée.

Le calcul de l'équivalent mécanique d'un foyer est facile : considérons, par exemple, un bec Auer n° 2, fournissant une intensité lumineuse de 85 bougies suivant une direction déterminée et consommant 115 litres de gaz de houille par heure. Admettons d'ailleurs que la chaleur de combustion du gaz de houille est 5.400 calories par mètre cube. La dépense du foyer considéré correspond donc à

$$\frac{5.400 \times 0,115}{85} = 7^{cal},3 \text{ par bougie-heure.}$$

Or l'équivalent mécanique de la chaleur étant 425 et le kilogrammètre valant 981×10^5 ergs, le travail absorbé par le foyer sera de :

$$\frac{7,3 \times 981 \times 10^5 \times 425}{10^6} = 304.359 \text{ megergs},$$

soit une puissance de

$$\frac{304.359}{3.600''} = 84,55 \text{ megergs}$$

par seconde, ce qui équivaut à $8^{\text{watts}},45$ comme équivalent mécanique de la bougie pour le foyer considéré.

L'équivalent pour le bec Bengel serait de $67^{\text{watts}},9$; et de $93^{\text{watts}},2$ pour le bec papillon ; pour la bougie de l'Étoile, de 86 watts ; pour la lampe à pétrole, 57 watts.

Tous ces coefficients sont d'ailleurs très discutables, si on considère que l'intensité en bougies est très variable pour le même foyer suivant que l'on envisage telle ou telle direction. Les chiffres indiqués ci-dessus, qui se rapportent à l'intensité lumineuse déterminée suivant une horizontale passant par le foyer, sont dès lors susceptibles de corrections sensibles pour certains appareils, ainsi qu'on en jugera par les considérations développées plus loin (Voir n° 233).

229. Détermination de l'intensité lumineuse. — Si Q est la quantité de lumière émise par une source lumineuse concentrée en un point, la quantité correspondante de lumière e reçue par unité de surface, sur une sphère de rayon R dont le foyer occuperait le centre, sera égale à :

$$e = \frac{Q}{4\pi R^2}.$$

$\frac{Q}{4\pi}$ s'appelle l'*intensité lumineuse* de la source réduite à un point ; on la désigne par I. La première loi à déduire d



cette formule est que l'éclairement en un point est en raison inverse du carré de la distance au foyer.

Si, au lieu d'une source Q, on prend un deuxième foyer Q', on aura un éclairement e' tel que :

$$c' = \frac{Q'}{4\pi R'^2}.$$

Si les deux valeurs de c et e' sont égales, il en résulte :

$$\frac{I}{R^2} = \frac{I'}{R'^2},$$

De là une manière fort simple de comparer l'intensité de deux foyers. On détermine, sur deux surfaces identiques, des éclairements égaux, et on obtient la valeur de I' en fonction de I pris comme unité. Cette mesure est effectuée au moyen d'appareils spéciaux ou photomètres.

Sensibilité de l'œil aux observations photométriques. — Dans toute sensation physiologique, telle que celle produite sur l'œil par un faisceau lumineux, on distingue le *seuil* et la *hauteur d'excitation.* Le seuil est la limite inférieure au-dessous de laquelle la sensation n'existe pas. La hauteur est la limite au-dessus de laquelle une augmentation, même très violente, de l'*excitation*, ne produit plus d'effet appréciable dans la sensation. On appelle d'ailleurs *sensations maxima* et *minima* celles correspondant respectivement à la hauteur et au seuil de l'excitation. Enfin on appelle parfois *unité physiologiques* le seuil de l'excitation.

Cette unité peut se déterminer ainsi : on éclaire un écran au moyen de deux sources de lumière identiques, dont l'une, fixe, est distante de l'écran d'une unité arbitrairement choisie, puis on dispose entre l'écran et les deux sources un stylet dont deux ombres se projettent sur l'écran : on éloigne ensuite la source mobile jusqu'à ce que l'œil ne perçoive plus la trace de l'ombre correspondante. Dès lors, si à ce moment

x représente la distance de la source mobile à l'écran, la valeur du seuil de l'excitation sera :

$$K = \frac{1}{x^2}.$$

D'après *Masson*, l'unité physiologique dans les opérations photométriques serait maximum lorsque les intensités lumineuses à comparer sont de l'ordre de la lumière diffuse du jour ; il a trouvé pour cette unité une valeur de 1/186.

Le seuil de l'excitation varie d'ailleurs pour les diverses radiations du spectre. Les chiffres ci-après obtenus par Ebert renseignent à cet égard : ces chiffres, qui sont la moyenne de deux observations, sont établis en prenant comme unité le seuil correspondant à la couleur verte et en ramenant le résultat à la même énergie du mouvement vibratoire.

LONGUEUR D'ONDE	COULEUR	SEUIL DE L'EXCITATION
0,675	Rouge	30
0,590	Jaune	16
0,530	Vert	1
0,470	Bleu	4

Dès que la différence d'intensité des lumières à comparer dépasse l'unité physiologique correspondant à l'expérimentateur et aux conditions de l'expérience, l'intensité de la sensation varie, selon E.-H. Weber, suivant un accroissement dS proportionnel au rapport de l'accroissement de l'excitation dI à l'excitation initiale I, c'est-à-dire

$$dS = k \frac{dI}{I}$$

ou, après intégration,

$$S = k \log (I) + C.$$

La sensation S étant nulle pour une excitation dont l'unité physiologique serait I_0, on trouve :

$$C = k \log I_0, \qquad \text{d'où} \qquad S = k \log \frac{I}{I_0}.$$

Cette formule montre que, en général, si l'intensité d'une excitation lumineuse passe d'une valeur donnée à une valeur m fois plus grande, la sensation augmente dans le rapport $\frac{a}{a + \log m}$, ce qui revient à dire, comme l'indique la loi psychophysique de Fechner, que la sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation.

Cette formule montre bien que l'œil ne peut juger si une lumière est m fois plus intense qu'une autre ; il ne peut que juger leur égalité. Tous les photomètres sont d'ailleurs conçus dans ce but.

230. Étalons de lumière. — *Unité Violle.* — *Bougie décimale.* — Pendant longtemps, chaque pays avait son unité de lumière. Connaissant le rapport de ces diverses unités entre elles, il était très facile de passer de l'une à l'autre. Cependant, pour simplifier, une unité internationale a été admise (Congrès international des électriciens, du 3 mai 1896), c'est la *bougie décimale*, ou *pyr*, qui vaut 1/20 de l'étalon Violle. Cet étalon correspond à la quantité de lumière émise par 1 centimètre carré de platine fondu à la température de sa solidification (1.775°). Pour réaliser cet étalon, on fond du platine pur dans un creuset de chaux, à l'aide d'un chalumeau oxhydrique. Pendant la solidification, dont la durée dépend de la quantité de platine fondu, on observe la lumière émise par la surface du bain au travers d'un écran percé d'un orifice de 1 centimètre carré.

M. Petavit a été amené à fixer les conditions normales de l'expérience faite avec des matières aussi pures que possible : la masse du platine doit être de 345 grammes ; l'aire de la surface du bain, de 17 centimètres ; le diamètre de l'ouverture pratiquée dans le couvercle du four, $1^{cm},6$. Les gaz

doivent être dans la proportion de 3 d'oxygène pour 4 d'hydrogène. On fait ensuite des relevés de dix secondes en dix secondes; l'intensité n'est pas constante; elle atteint sa valeur normale au moment où la lumière se relève par un éclair.

M. Siemens a rendu pratique cet étalon de lumière (*fig.* 267). Derrière un orifice circulaire, dont la surface mesure 1/10 de centimètre carré, il place un ruban de platine traversé par un courant électrique issu des bornes k_1, k_2, qui le porte à l'incandescence. On augmente progressivement le courant jusqu'à ce que le platine soit sur le point de fondre, c'est à ce moment que l'étalon a sa vraie valeur. Au moyen d'une poignée *g* et d'un mécanisme *psh*, on fait avancer la lame enroulée sur *r* de manière à recommencer l'expérience s'il est nécessaire.

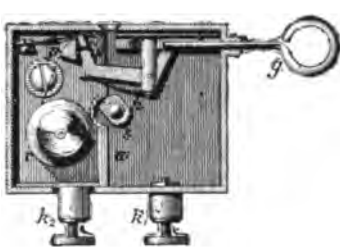


Fig. 267. — Étalon Violle-Siemens.

Dans cet appareil, on observe le platine à son point de usion et non pas, comme l'avait précisé la définition légale, à son point de solidification : or il n'est pas certain que le platine n'ait pas un point de fusion différent du point de solidification ; d'autre part, on a observé que les résultats fournis par cet appareil ne sont pas constants, en raison de l'influence que les recuits successifs du platine peuvent apporter dans son point de fusion ; or cette influence est nulle sur le point de solidification.

En raison de la grandeur de son orifice circulaire, qui ne découvre que 1/10 de centimètre carré, l'étalon Violle-Siemens fournit une intensité lumineuse de 2 bougies décimales.

MM. Lummer et Kurlbaum ont procédé d'une manière analogue ; la source lumineuse est constituée par une lame de platine de 25 millimètres de large sur 0m,015 d'épaisseur portée à l'incandescence par un courant de 80 ampères.

L'énergie rayonnée, qui n'est qu'un dixième de l'énergie totale, est mesurée par un bolomètre. Cette méthode, comme la précédente, a l'inconvénient de prendre une température trop basse, et la lumière obtenue est trop rouge ; il suffit que la section du ruban ne soit pas uniforme et que le métal ne soit pas homogène pour produire des variations assez marquées. On ne peut donc affirmer que les mesures soient absolument précises.

Lampe Carcel. — En France, l'unité fréquemment admise est la carcel ; elle vaut 9,6 bougies décimales. C'est la lumière fournie par une lampe à huile Carcel décrite au paragraphe 9. Les conditions de fonctionnement sont les suivantes : consommation d'huile, 42 grammes à l'heure ; hauteur de mèche, 10 millimètres ; coude du verre, 7 millimètres au-dessus du niveau de la mèche. On considère comme suffisants les essais faits avec une consommation inférieure à 46 grammes et supérieure à 38 grammes, soit 4 grammes de différence avec la consommation normale ; on admet que la puissance lumineuse a suivi une progression correspondante. Il faut, autant que possible, que l'essai ait lieu à une température de 15 à 20° ; on doit renouveler, tous les quarts d'heure environ, l'air de la salle où on opère.

Bougie allemande. — *Lampe Hefner.* — En Allemagne, l'unité de lumière est une bougie de paraffine additionnée de 2 0/0 de stéarine, de manière à avoir un point de fusion constant à 55°. La bougie, d'un diamètre de 20 millimètres et d'une longueur totale de $19^{cm},5$, ou $17^{cm},5$ dans sa partie cylindrique, pèse $50^{gr},3$. La valeur éclairante se règle d'après la hauteur de la flamme, qui doit être normalement de 50 millimètres, correspondant à un poids moyen brûlé à l'heure de 7 grammes ou une longueur de 27 millimètres. La mèche, formée d'une tresse à vingt-quatre brins, doit s'user progressivement de manière à maintenir constante la hauteur de la flamme. Elle vaut 1,05 bougie décimale.

Cette bougie tend à être remplacée par la lampe Hefner

von Alteneck (*fig.* 268), c'est-à-dire par la flamme d'une mèche saturée d'acétate d'amyle $C^7H^{14}O^2$. La mèche est formée de filaments de coton qui remplissent exactement un tube *n* de 8 millimètres de diamètre interne, 8mm,5 de diamètre externe et 25 millimètres de hauteur verticale. La hauteur de la flamme doit être exactement de 40 millimètres, de la pointe fixée par un viseur *ab* au niveau supérieur du tube; on la règle en montant plus ou moins la mèche au moyen d'une clé à molette *m*; mais la mèche ne doit pas sortir du tube, de manière à ne pas modifier le pouvoir éclairant. Son intensité, d'après M. Laporte, serait de 0,885 bougie décimale. D'après Liebenthal, qui l'a comparée à celle de l'étalon Violle-Siemens, on aurait 1 violle-siemens = 1,757 hefner. L'appareil ne comportant pas de cheminée, les essais doivent se faire à l'air tranquille. On a constaté que la vapeur d'eau, l'acide carbonique diffusés dans l'air, avaient une certaine influence sur l'expérience, ce qui nécessite le renouvellement fréquent de l'air de la salle. Pour des variations de hauteur en dessus et en dessous de 0m,040, on a pour les corrections de l'intensité correspondante de la lampe :

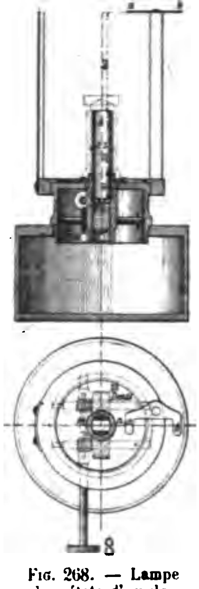


Fig. 268. — Lampe à acétate d'amyle.

$$I = 1 + 0,025\,(h - 40) \text{ ou } = 1 - 0,03\,(40 - h).$$

M. Blondel a modifié la lampe Hefner de manière à simplifier les expériences. Au lieu d'acétate d'amyle, il se sert d'un mélange de 16 0/0 de benzine cristallisée en volume et 84 0/0 d'alcool à brûler dont le point d'ébullition est plus bas ; pour donner plus de fixité à la flamme, cette dernière est surmontée d'une chambre de combustion et d'une cheminée. Enfin l'appareil est muni, comme dans la lampe

Hefner, d'un viseur pour déterminer la hauteur de la flamme fixée pour chaque lampe.

Bougie anglaise. — Lampe au pentane. — En Angleterre, l'unité de lumière est la bougie de spermaceti de six à la livre anglaise, soit un poids de $75^{gr},7$, brûlant $7^{gr},776$ à l'heure avec une flamme de $44^{mm},5$. On admet que le pouvoir éclairant est proportionnel à la consommation, à la condition que cette dernière soit comprise entre 114 et 126 grammes; sinon il faut recommencer l'expérience.

La bougie anglaise a été remplacée par la lampe Vernon-Harcourt au pentane C^5H^{12}, dans laquelle ce liquide, extrait du pétrole, est contenu dans un récipient, il se vaporise par une mèche à l'intérieur d'un tube qui la dépasse de quelques centimètres. Les vapeurs sont enflammées à la sortie du tube, de sorte que la mèche ne se carbonise pas. La flamme, jaune pâle, brûle à l'air libre; sa partie supérieure s'engage dans une cheminée sur laquelle est ménagée une petite fente qui permet d'apercevoir la pointe de la flamme. L'intensité de la pointe visible de la flamme entre le brûleur et la base de la cheminée est alors d'une bougie anglaise.

Dans un autre type de cette lampe, l'alimentation se fait par un courant d'air chargé de pentane dans son passage à travers un saturateur; le mélange est amené dans un brûleur en stéatite; la cheminée est entourée d'un tube en laiton dans lequel se produit un courant d'air ascendant qu'on ramène à la base du brûleur. La hauteur de flamme doit être de 47 millimètres; son intensité est de 10 bougies anglaises.

M. Liebenthal a constaté que les essais devaient être faits une demi-heure après l'allumage, en ayant soin de régler exactement la flamme, plus rigide que celle de la lampe Hefner. L'humidité et la pression barométrique exercent une certaine influence, mais sans grande importance.

Étalons divers. — M. Violle a proposé comme étalon pratique l'acétylène brûlé en forme de lame mince sous une pression de $0^m,30$. Un très grand nombre d'essais d'étalons ont été faits avec ce gaz, tant en France qu'en Amérique;

la lumière est très blanche et très stable; mais les orifices des brûleurs ne tardent pas à se boucher.

M. Blondel a fait construire un appareil permettant d'utiliser, comme source de lumière, une surface déterminée du cratère du charbon positif d'un arc dont l'éclat reste rigoureusement constant, lorsque la puissance varie dans des limites très étendues, 500 à 34.000 watts ; mais il faut pour cela que le charbon soit suffisamment pur.

Enfin, on peut se servir de lampes à incandescence comme étalons intermédiaires, à la condition de régler exactement la tension aux bornes et de bien fixer au préalable les conditions des mesures à effectuer.

On peut du reste employer une lumière quelconque comme étalon, à la condition qu'elle satisfasse aux trois conditions suivantes :

1° Être de composition constante et facile à obtenir ;

2° Être facile à diriger ;

3° Être indépendante de l'atmosphère.

Le tableau suivant résume le rapport des unités entre elles:

UNITÉS	BOUGIE HEFNER	BOUGIE ALLEMANDE	BOUGIE ANGLAISE	LAMPE AU PENTANE d'une bougie	LAMPE AU PENTANE de 10 bougies	LAMPE CARCEL	BOUGIE DÉCIMALE
Bougie Hefner....	1	0,833	0,877	0,855	0,088	0,092	0,835
Bougie allemande.	1,20	1	1.05	1,03	0,105	0,110	1,047
Bougie anglaise...	1,14	0,950	1	0,97	0,100	0,105	0,997
Lampe au pentane d'une bougie....	1,17	0,970	1,03	1	0.103	0,107	1,016
Lampe au pentane de 10 bougies...	11,40	9,500	10,00	9,70	1	1,050	9.970
Lampe Carcel....	10,87	9,050	9,53	9,29	0,950	1	0,092
Bougie décimale..	1,13	0,955	1,003	0.984	0,1003	0,104	1

231. Photomètres. — *Photomètre de Foucault.* — Les photomètres ont pour but la comparaison de la lumière à mesurer avec l'étalon adopté. Le principe de celui de Foucault (*fig.* 269) consiste à projeter sur un écran translucide formant le fond d'une boîte A, noircie intérieurement, les lumières à comparer et séparées par une cloison

mobile perpendiculaire au plan de l'écran. Il se forme de chaque côté de la cloison, sur l'écran, deux ombres rectilignes et parallèles comprenant entre elles une bande brillante ou

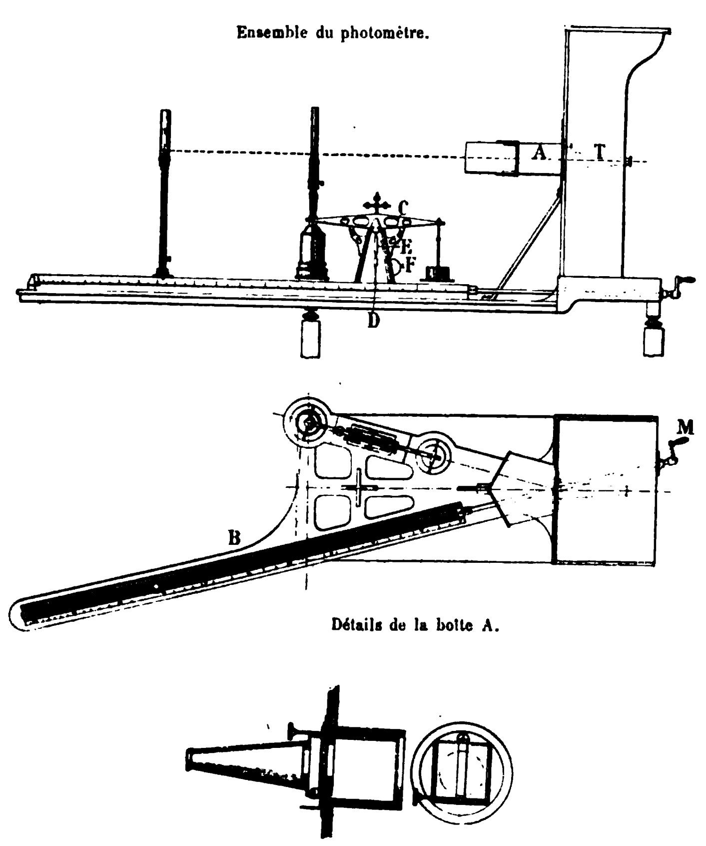


Fig. 269. — Photomètre de Foucault.

obscure suivant la distance de la cloison à l'écran. Lorsque l'égalité d'éclairement est obtenue, cette ligne s'évanouit et l'écran paraît uniformément éclairé.

L'étalon lumineux, dans le cas d'une lampe Carcel, est placé

à 1 mètre de l'écran, le foyer à mesurer se met sur un chariot mobile le long d'une règle graduée B, formant l'écrou d'une vis mue par la manivelle M. On pourra donc amener facilement le chariot dans une position convenable pour obtenir l'égalité d'éclairement. Si R est la distance du foyer à l'écran, 1 étant celle de la lampe-étalon, on aura pour l'intensité du foyer à mesurer :

$$I' = \frac{IR^2}{1^2} = R^2.$$

Il suffit donc de lire la distance sur la règle photométrique graduée en conséquence.

L'écran est obtenu en trempant une lame de verre dans un bain d'amidon. Pour éviter l'influence de la lumière diffuse de la salle, on place devant l'orifice un tube T, noirci intérieurement, par où se font les visées.

Pour faire un essai, il y a quelques précautions à prendre : s'assurer d'abord que l'étalon est bien dans les conditions normales de consommation. Pour cela, on place la lampe allumée sur un des plateaux d'une balance C dont l'autre plateau reçoit une tare n'équilibrant pas complètement le poids de la lampe. Lorsqu'une certaine quantité d'huile a été brûlée, le fléau devient horizontal, et un indicateur vertical D, solidaire du fléau, fait tomber un marteau sur un timbre F. Au même moment, on met en mouvement un compteur à secondes et on rompt de nouveau l'équilibre en plaçant sous la lampe un poids de 10 grammes par exemple. Le marteau remis en place retombera sous l'action de l'indicateur lorsque le fléau redeviendra horizontal, c'est-à-dire quand les 10 grammes auront été brûlés. Le compteur indiquera le temps de la combustion, soit 14 minutes par exemple; on en conclut que l'étalon brûle bien $14 \times 3 = 42$ grammes à l'heure. On pourra faire l'essai. L'appareil Foucault est d'un emploi très répandu en France.

Photomètre Bunsen. — Un photomètre d'un emploi courant est celui de Bunsen. L'écran qui reçoit les rayons de lumière à comparer consiste en une feuille de papier rendue translu-

cide à l'aide d'un corps gras. Une tache blanche a été réservée au milieu. On dispose la feuille perpendiculairement à l'axe des deux lumières et on la déplace jusqu'à ce que la tache disparaisse à la vision. A ce moment, il y a égalité d'intensité. Les rayons lumineux traversent facilement la partie transparente, tandis qu'ils sont arrêtés et diffusés par la tache opaque. Par suite, si on regarde la feuille d'un côté, la partie transparente laisse passer les rayons de la lumière opposée et la tache opaque est éclairée par celle du côté correspondant. Comme il y a symétrie des deux côtés, si la

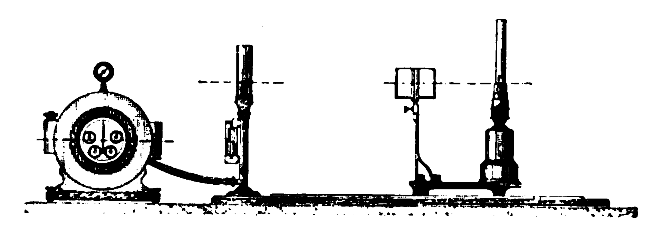


Fig. 270. — Photomètre Bunsen.

tache disparaît, c'est que l'éclairement est le même pour les deux parties de l'écran ; il suffit alors de lire la distance des deux lumières à l'écran et d'en prendre le rapport des carrés pour avoir la valeur relative des deux foyers.

L'appareil basé sur ce principe est très simple et, de plus, aisément transportable (*fig.* 270). Il consiste en une règle graduée de 1 ou 2 mètres de longueur. A l'une des extrémités se fixe le bec à essayer, qui restera fixe. Un petit chariot portant l'écran et la lampe étalon se place de l'autre côté ; on le fait rouler le long de la règle jusqu'à ce qu'on obtienne l'égalité de teintes. Afin de faciliter l'observation simultanée de l'éclairement des deux faces de l'écran, on place souvent celui-ci suivant le plan bissecteur de deux miroirs formant entre eux un angle de 45°. L'observateur aperçoit alors, à travers une ouverture ménagée dans la paroi du photomètre, les deux faces de l'écran réfléchies par les miroirs.

Photomètre Lummer et Brodhun. — Cet appareil est plus sensible que les précédents. Il consiste (*fig.* 271) en deux prismes

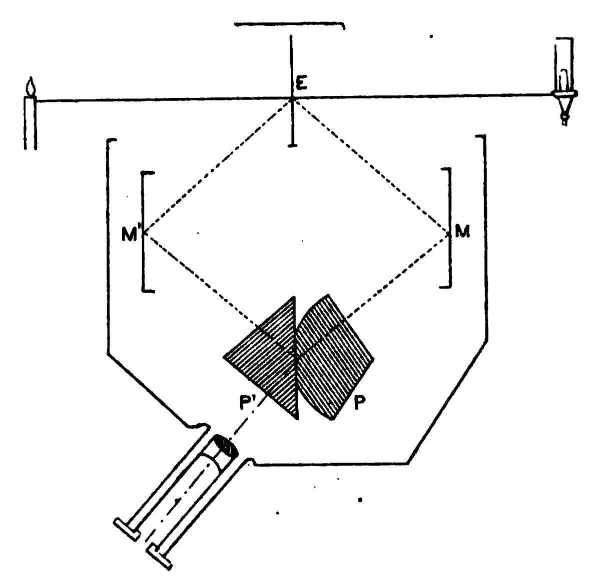


Fig. 271. — Photomètre Lummer et Brodhun.

P et P' à réflexion totale accolés par leur face hypoténuse; seulement, pour l'un d'eux P, une partie de la face est usée en forme sphérique.

Un écran diffuseur E sépare les deux lumières à comparer. Les rayons de la face droite de l'écran arrivent, après réflexion sur le miroir M, sur le prisme P : une partie de la lumière traverse sans réflexion, ni réfraction la surface séparatrice des deux prismes et vient impressionner l'œil de l'observateur. Celui-ci aperçoit alors, sous forme d'une plag elliptique, une portion de la face de droite de l'écran ; il di tingue en même temps un champ lumineux entourant l plage, provenant de la lumière envoyée par la face de gauch de l'écran, lumière réfléchie sur le miroir M' et dont un

partie subit la réflexion totale sur la face hypoténuse du prisme P′, là où celle-ci n'est pas en contact avec P. On règle l'intervalle de l'écran aux lumières de façon à ce que l'égalité d'éclairement rende invisible la plage elliptique; il n'y a alors qu'à prendre le rapport des carrés des distances des foyers à l'écran pour avoir leur intensité relative.

Il convient de retourner l'écran afin d'éliminer l'erreur due à la différence possible des deux faces.

Au lieu de l'égalité des parties éclairées, on peut employer le système des contrastes; il suffit d'interposer sur chaque moitié des faisceaux une lame de verre. Il y a égalité d'intensité entre les deux sources lumineuses lorsque la différence d'éclat entre les deux parties correspondant à chaque faisceau est la même pour les deux.

232. Vérification du gaz. — *Essai.* — Cette opération a pour but de déterminer le titre d'un gaz, c'est-à-dire la quantité de gaz consommé pour réaliser avec un brûleur étalon un pouvoir lumineux fixé à l'avance. A Paris, l'essai se fait avec un bec Bengel à trente trous, dont les dimensions sont indiquées sur la figure 100. Pour que le gaz soit dans les conditions imposées par le cahier des charges, il faut que la consommation soit de 105 litres par carcel-heure. Pour faire un essai sur le photomètre Foucault, on place le brûleur à 1 mètre de l'écran et on ouvre le robinet jusqu'à ce que la flamme ait une intensité égale à celle de la carcel réglée comme à l'ordinaire. La balance est disposée pour donner une consommation d'huile correspondant à 10 grammes. Lorsque le marteau frappe le timbre pour la

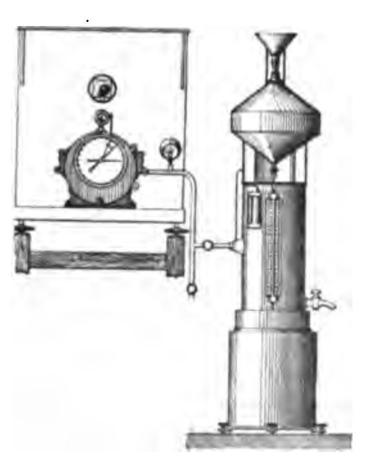


Fig. 272. — Vérification d'un compteur.

première fois, en actionnant le compteur de temps, on met également en marche, au moyen d'une transmission, l'aiguille d'un compteur à gaz d'expériences. L'arrêt des deux appareils a lieu simultanément au second coup de timbre. Il suffit de lire la quantité de gaz consommée, soit, par exemple, $24^{\text{lit}},5$, les temps étant proportionnels aux quantités d'huile brûlées, c'est-à-dire à 42 grammes et à 10 grammes, on aura pour le titre du gaz :

$$\frac{24,5 \times 42}{10} = 102^{\text{lit}},9.$$

Cet essai doit être répété trois fois de demi-heure en demi-heure.

Le compteur d'expériences, placé à l'avant du photomètre, doit être vérifié assez souvent, tous les huit jours par exemple, au moyen d'un gazomètre spécial (*fig.* 272). La cloche de ce dernier, de forme ordinaire, est surmontée d'une jauge cylindroconique avec entonnoir dont la contenance de 25 litres est exactement indiquée par un point de repère. La cloche étant remplie de gaz et la jauge d'eau, il suffit de faire écouler cette dernière pour déplacer un volume équivalent de gaz. En passant dans le compteur, l'aiguille doit indiquer exactement le chiffre de 25. La pression de l'écoulement est réglée à 2 ou 3 millimètres d'eau.

Photomètre à jet. — On peut à chaque instant connaître le pouvoir éclairant d'un gaz au moyen d'un photomètre spécial. Il est basé sur la propriété qu'a le bec bougie de donner, pour la même pression, des hauteurs de flamme variant seulement avec le pouvoir éclairant du gaz. Il consiste en un bec en stéatite muni d'un régulateur. Le tout est enfermé dans une cage vitrée qui l'abrite contre les courants d'air (*fig.* 273). Au moyen d'un index, on fixe une première fois la hauteur pour un gaz de pouvoir éclairant connu. Les différences avec cette hauteur mesureront les variations de la puissance lumineuse du gaz. Un brûleur de 1 millimètre de diamètre donne 1/10 de carcel, soit 1 bougie, avec une

hauteur de flamme de 67mm,5. Chaque millimètre de différence en plus ou en moins correspond à une variation de 0,00022 bougie. La valeur lumineuse du bec est donc de [1 + 0,00022 (h — 67,5)] bougies. Un manomètre placé sous le régulateur indique que la pression est fixée exactement à 30 millimètres; on peut la faire varier du reste au moyen du robinet. On y joint également une éprouvette avec papier à sous-acétate de plomb pour caractériser l'acide sulfhydrique. On pourrait, avec un gaz de pouvoir éclairant connu, se servir de ce brûleur comme étalon pour d'autres sources lumineuses.

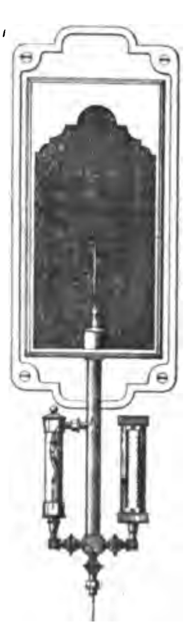


Fig. 273.— Photomètre à jet.

Écran Methwen. — Sur un brûleur Argand alimenté au gaz (*fig.* 274), on fixe, en avant de la cheminée, un écran en cuivre percé d'une ouverture rectangulaire de section telle que, pour une consommation de 5 pieds cubes (41lit,3) à l'heure d'un gaz normal, le pouvoir éclairant est de 2 bougies spermaceti anglaises. Si le titre du gaz change, il faut modifier la consommation en conséquence. La qualité du gaz peut varier de 10 0/0 au dessus ou au-dessous sans que la valeur éclairante soit altérée.



Fig. 274. Ecran Methwen.

L'écran Methwen peut, comme le photomètre à jet, servir d'étalon, à la condition de rendre le pouvoir éclairant du gaz constant, résultat obtenu en le saturant de pentane.

Variation du pouvoir éclairant avec les différents pays. — Le pouvoir éclairant du gaz varie avec les différentes contrées; de plus, les essais au photomètre ne sont pas faits avec les mêmes brûleurs. Il est donc nécessaire, pour comparer le gaz fourni dans deux endroits différents, de con-

naître à la fois le brûleur étalon et le titre de chaque gaz.

A Londres, le brûleur étalon est un bec Argand construit par Sugg ; 142 litres ou 5 pieds cubes de gaz ordinaire brûlés dans ce bec doivent donner 16 bougies. Or ce bec Argand aurait un rendement supérieur de 17 0/0 à celui du Bengel de Paris. On peut donc dire que, si 105 litres à Paris donnent une carcel ou 9,6 bougies anglaises, 142 litres à Londres, dans le brûleur Argand, donneront 15^{boug},2. Le gaz de Londres est donc supérieur de 5,3 0/0 à celui de Paris.

En Allemagne, l'étalon généralement adopté est un bec Argand construit par la maison Elster de Berlin. Ce bec a été étudié de manière à avoir un rendement maximum; les courants d'air intérieur et extérieur ont été séparés. Dans ces conditions, le titre du gaz est de 150 litres pour 16 bougies allemandes. Le gaz de Berlin est inférieur de 6 0/0 à celui de Paris.

Dans les essais de vérification du gaz à Paris, on mesure au compteur la consommation du Bengel type sans faire, comme à Londres, la correction pour ramener le volume indiqué à une pression et à une température constantes. Cette méthode est la plus juste au point de vue des consommations; elle oblige simplement les Compagnies à corriger le pouvoir éclairant du gaz suivant les circonstances présentes.

233. Flux lumineux. Intensité sphérique moyenne. — Dans tous les essais photométriques précédents, on s'est contenté de prendre l'intensité sur l'horizontale. Au début, cette mesure seule suffisait; mais, depuis l'apparition des lampes à gaz à flamme en dessous et des foyers électriques à arc, qui donnent une intensité très faible, sinon nulle, sur l'horizontale, on a été amené à prendre l'intensité dans toutes les directions et en faire une sorte de moyenne. Si on prend une sphère de rayon 1 dont le centre est occupé par la source à mesurer, l'éclairement, c'est-à-dire l'intensité suivant une direction multipliée par la surface correspondante, ne sera pas le même aux différents points de cette sphère. En faisant le total de ces différents éclairements, l

somme serait équivalente à celle que donnerait un foyer d'intensité différente, mais constante dans toutes les directions. Cette intensité fictive est ce qu'on nomme l'*intensité sphérique moyenne*.

M. Blondel a proposé une autre caractéristique, le *flux lumineux*, c'est-à-dire l'ensemble des rayons lumineux contenus dans un angle solide déterminé. Pour un angle $d\alpha$,

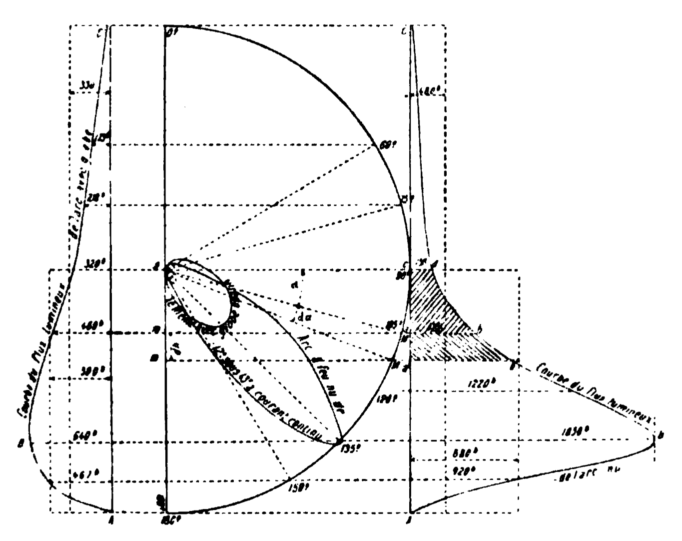


Fig. 275. — Arc de 12 ampères et 43 volts.

donnant :

	à feu nu	avec globe
Ordonnée moyenne sphérique.........	480 bougies	330 bougies
Flux lumineux sphérique..............	6.830 lumens	4.148 lumens
Ordonnée moyenne hémisphérique.....	880 bougies	500 bougies
Flux lumineux hémisphérique.........	5.526 lumens	3.140 lumens

N. B. — Les courbes sont à la même échelle, 1/2 du rayon par 1.000 bougies.

on peut prendre pour le flux l'intensité $I\alpha$ correspondante, multipliée par l'angle $d\alpha$. On aura donc d'une manière générale :

$$\Phi = \int I\alpha d\alpha.$$

Dans le cas où l'angle solide est un cône à axe vertical, $d\alpha$ peut être représenté (*fig.* 275) par une zone infiniment petite de hauteur dh tracée sur une sphère de rayon R. La surface de la zone de hauteur om est égale à $2\pi R om = 2\pi R^2 \sin \alpha$; pour un accroissement dh, la valeur $d\alpha$ devient $2\pi R^2 \cos \alpha \, d\alpha$; et dans le cas d'une sphère de rayon 1, on aura :

$$\Phi = 2\pi \int I\alpha \cos \alpha \, d\alpha.$$

L'unité de flux est le *lumen*, c'est le flux émis dans un angle solide égal à l'unité par une source lumineuse uniforme d'une bougie décimale ou pyr. Une source de n bougies émet dans toutes les directions un flux de $4\pi n$.

On peut construire graphiquement l'expression $I\alpha \cos \alpha \, d\alpha$. Sur un axe CA (*fig.* 275) parallèle au diamètre vertical de la sphère de rayon R, on projette les plans limitant la zone MM′ et son accroissement $d\alpha$; on élève ensuite aux points correspondants des perpendiculaires proportionnelles aux valeurs $I\alpha$; pour avoir la valeur du flux Φ contenu dans l'angle α, il suffira d'évaluer la surface *abcd* correspondant à cet angle et de multiplier le résultat par $\frac{2\pi}{R}$. Si les intensités sont exprimées en pyrs, le flux sera donné en lumens.

Si on évalue le flux correspondant à toute la sphère, c'est-à-dire à l'angle 4π, il mesurera l'éclairement total de toute la sphère de rayon égal à 1. Ce flux divisé par 4π donnera l'*intensité sphérique moyenne*. Ce qui revient, en somme, à mesurer toute la surface ABC et à prendre l'ordonnée moyenne de la courbe, qui sert donc indifféremment au calcul du flux total ou de l'intensité sphérique moyenne. Mais, quel que soit le résultat cherché, pour construire cette courbe, il faut mesurer l'intensité lumineuse sous différents angles.

Bien souvent, au lieu de mesurer le flux lumineux sur la sphère totale, on se contente de ne prendre que l'hémisphère supérieur ou inférieur; les calculs sont les mêmes.

Dans quelques cas particuliers, on peut déterminer l'intensité sphérique moyenne avec une ou deux mesures seulement. Avec les foyers à arc à courants continus, il suffit

de l'intensité horizontale I_h et de l'intensité maxima I_m; on a :

$$I_s = \frac{I_h}{2} + \frac{I_m}{4},$$

ou encore $I_s = 0{,}35 I_m$. Cette dernière I_m peut même être calculée par la formule :

$$I_m = 20i + 0{,}40i^2.$$

Si on ne voulait que l'intensité hémisphérique supérieure ou inférieure, on aurait pour la première $\frac{I_h}{2}$ et pour l'autre $\frac{I_m + I_h}{2}$. Pour les foyers à arc à courants alternatifs on a :

$$I_s = \frac{I_h}{4} + \frac{I_m + I_m'}{4}.$$

Les valeurs I_m, I'_m représentent les deux intensités maxima.

234. Influence des globes. — Pouvoir absorbant. — Les globes, tulipes, réflecteurs, dont on entoure les foyers lumineux, ont pour effet de modifier la distribution de la lumière. Des essais faits par Stort, avec des lampes à arc de 10 ampères entourées de globes de matière différente, ont donné les résultats suivants :

	Sans globe	Avec globe clair	Avec globe opalin
Intensité maxima..........	1161	865,5	653,5
Intensité moyenne demi-sphérique................	635	605	494
Intensité moyenne sphérique	362	336	320
Perte par absorption.......	0	6	11

D'une manière générale, les globes régularisent la distribution lumineuse, atténuant l'intensité maxima au profit des autres directions, mais toujours avec une perte de lumière dont l'importance dépend du pouvoir absorbant du globe. Le

tableau suivant donne l'absorption, en pour cent, des différents verres employés :

D'APRÈS HERZBERG

Verre transparent pour miroirs.................	10 0/0
— ordinaire de fenêtres.....................	12,6
— opaque (émerisé).........................	27
— très opaque..	60

D'APRÈS HEFNER VON ALTENECK

Globe albâtre..................................	15 0/0
— opalin...................................	20
— laiteux..................................	30 à 60

On a vu comment on pouvait améliorer la distribution de la lumière au moyen de globes holophanes ou diffuseurs. On peut, dans certains cas, recourir aux réflecteurs pour modifier encore la distribution lumineuse. L'augmentation de lumière obtenue dépend à la fois de la nature et de la forme du réflecteur. Au point de vue de la nature du réflecteur, on a les chiffres suivants, en prenant comme terme de comparaison l'unité d'éclairement à feu nu :

Tôle vernie....................................	9 lux
Tôle polie.....................................	64 —
Papier avec mica...............................	23 —
Verre opale....................................	30 —

235. **Lumen-mètre.** — M. Blondel a imaginé un appareil permettant de mesurer le flux lumineux en une seule opération. Il se compose (*fig.* 276) d'une sphère métallique S au centre O de laquelle se place le foyer de la source à essayer. La sphère est coupée dans deux directions opposées suivant des fuseaux qui la divisent en deux parties. Les rayons lumineux qui traversent ces fuseaux viennent se réfléchir sur un miroir elliptique ZZ, en verre taillé et argenté. Si l'on place, normalement à l'axe, un écran diffuseur NN, les rayons

réfléchis viendront y converger, formant une tache annulaire.

Il suffit alors de mesurer, au moyen d'un étalon P, l'intensité lumineuse de cette tache placée à une distance l. L'étalon employé est le plus souvent une lampe à incandescence ou une lampe à acétate d'amyle. Généralement, la tache

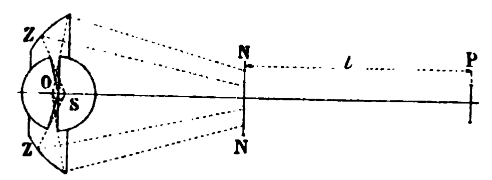


Fig. 276. — Lumen-mètre.

mesure $0^m,20$ à $0^m,50$ de diamètre, la longueur l varie alors de 2 à 5 mètres.

On tare l'appareil, c'est-à-dire qu'on évalue en flux l'intensité lumineuse d'une tache obtenue avec un étalon photométrique.

236. Mesure de l'intensité sous différents angles. — Pour mesurer l'intensité sous différents angles, il faut dans chaque position que le flux tombe normalement sur l'écran

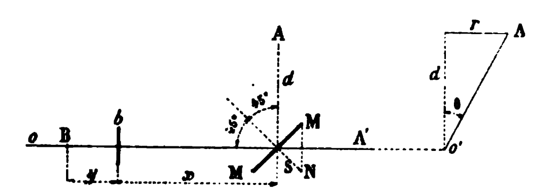


Fig. 277. — Mesure de l'intensité sous différents angles.

du photomètre ; si ce dernier est fixe, on est obligé de recourir à une disposition spéciale pour réaliser cette condition. Une des plus commodes est celle de MM. Ayrton et Perry (*fig.* 277).

Le miroir plan MM a son centre sur le pied de la perpendiculaire abaissée du foyer à mesurer A sur la ligne du banc photométrique *oo'* à une distance *d*. Il est disposé de façon à pouvoir se déplacer autour de l'axe *oo'* en restant toujours tangent à un cône droit à base circulaire MSN, dont l'angle au sommet est de 90°.

Supposons d'abord le miroir tangent au cône suivant la génératrice SM et, par suite, perpendiculaire au plan horizontal BSA. Les rayons émis par A rencontreront normalement l'écran *b*, qui sera éclairé comme si A était à une distance $x + d$. Élevons le foyer de la hauteur *r* sur la verticale de A et faisons tourner en même temps le miroir d'un angle θ, tel que $\operatorname{tg}\theta = \frac{r}{d}$. Dans cette position, les rayons faisant avec l'horizontale l'angle θ seront perpendiculaires à *oo'* et, comme ils rencontrent le miroir à 45°, ils seront réfléchis normalement. La distance est alors $\left(x + \frac{d}{\cos\theta}\right)$. On aura ainsi l'intensité suivant les angles θ_1, θ_2, soit au-dessus, soit au-dessous du plan horizontal. Pour des inclinaisons voisines de 90°, il vaut mieux placer le foyer en A', c'est-à-dire dans le plan vertical de *oo'*. Avant toute opération, on commence par déterminer le coefficient d'absorption du miroir en comparant deux foyers d'intensités connues avec et sans le miroir.

Dans le cas de lampes à incandescence, il est très facile d'orienter la lampe comme on le désire suivant les différentes directions.

En Allemagne, on emploie couramment le photomètre Elster, également très commode pour ces sortes de mesures.

237. Photométrie des lampes à incandescence. — Il y a au point de vue de la forme, d'après M. Liebenthal, quatre types de filaments : 1° le filament rectiligne qui se trouve dans l'axe de la lampe; 2° celui qui est composé de deux parties droites réunies par une partie courbe, arc de cercle ou demi-circonférence ; 3° celui dans lequel deux parties droites sont reliées par une courbe présentant en plan un, deux ou trois points doubles; 4° ceux qui forment autour d'une courbe

gauche des festons demi-circulaires, dont le plan est au voisinage des points d'attache parallèle à l'axe de la lampe et normal dans la partie moyenne. La répartition de la lumière n'étant pas uniforme, on cherche à obtenir l'intensité moyenne horizontale, en se basant sur quelques observations relatives à la relation qui existe entre cette intensité et la maxima.

Le type 2 a son intensité maxima dans le plan normal au plan moyen du filament : l'intensité moyenne horizontale est égale à 0,99 de l'intensité maxima avec des filaments à parties rectilignes voisines ou à 0,88 lorsque les parties rectilignes sont très éloignées et que le filament est creux. Pour le type 3, dont l'intensité maxima est dans le plan normal au plan moyen, l'intensité moyenne sera égale à 0,94 de la maxima pour les filaments à une boucle ou 0,90 avec deux ou trois boucles. Le type 4 donne son intensité maxima dans le plan de symétrie ; l'intensité moyenne est égale à 0,73 de la première.

On pourrait prendre comme intensité moyenne horizontale celle provenant de deux mesures faites dans des directions perpendiculaires ; le résultat est insuffisant, et il faut prendre au moins celle de trois mesures, l'erreur peut dépasser 2 0/0. C'est ce qui a été admis par l'Union des électriciens allemands ; on reçoit sur le photomètre la lumière directe du filament, dont les points d'attache sont dans un plan perpendiculaire au banc du photomètre, et celle réfléchie par deux miroirs de 93 millimètres de côté sur 2 à 5 millimètres d'épaisseur, formant entre eux un dièdre dont l'arête est à $0^m,09$ de la lampe.

On obtient une valeur exacte de l'intensité moyenne horizontale en recevant les rayons réfléchis par une lame de verre non argentée, inclinée à 45° sur l'axe de la lampe et tournant autour de lui. Au lieu d'une lame mobile, on pourrait se servir d'une pyramide fixe de dix verres. L'Institut américain recommande d'évaluer cette intensité moyenne en faisant tourner la lampe à raison de deux tours par seconde autour de son axe.

Quant à l'intensité sphérique moyenne, elle est égale à l'intensité moyenne évaluée dans une direction inclinée de

45 et 53°; on peut la déterminer en faisant tourner la lampe autour d'un axe incliné de 45° sur la verticale.

Ce qu'il importe surtout, c'est de bien fixer les conditions de mesure et, par suite, d'évaluation.

238. Couleur. — *Propriétés.* — La couleur d'une source lumineuse dépend surtout de la nature du corps qui lui donne naissance. C'est ainsi qu'en projetant dans la flamme incolore d'un brûleur bunsen des sels de thallium, de lanthane ou d'indium, on obtient une belle couleur verte, rouge ou bleue suivant le cas. Mais, le plus souvent, la teinte de la lumière est un mélange assez complexe de couleurs simples dont l'œil ne perçoit que la résultante. Il faut recourir à des moyens spéciaux pour en obtenir la décomposition ou le spectre lumineux comme celui de la lumière solaire par exemple. Si on compare le spectre ainsi obtenu à celui de la lumière solaire pris comme unité, on aura pour la longueur des raies des couleurs principales (Vivian Lewes) :

COULEURS DU SPECTRE	ELECTRICITÉ		GAZ		ACÉTYLÈNE	LUMIÈRE SOLAIRE
	Arc	Incandescence	Ordinaire	Auer		
Rouge	2,09	1,48	4,07	0,37	1,03	1
Jaune	1,00	1,00	1,00	0,90	1,02	1
Vert	0.99	0.62	0,47	4,30	0,71	1
Bleu	0,87	0,91	1,17	0,74	1,46	1
Violet	1,03	0,17	0,15	0,89	1,07	1

De son côté, M. Von Mutzel a comparé, avec le photomètre spectroscopique, l'intensité des diverses couleurs du spectre émis par la lumière Auer avec les couleurs correspondantes des spectres de la lampe à arc, de la lampe électrique à incandescence et du soleil. Dans ces comparaisons, l'éclat relatif de chaque couleur était estimé en supposant que la lumière jaune était de même éclat dans les deux spectres envisagés. Le tableau ci-après résume les résultats.

COULEURS	LONGUEURS D'ONDE en MICRONS	RAPPORT de LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE à celle du bec Auer		RAPPORT de la LUMIÈRE SOLAIRE à celle du bec Auer
		Arc	Incandescence	
Rouge extrême..	0.800	0,57	4,04	0,34
Rouge..........	0,686	0,80	1,67	0,62
Jaune...........	0,589	1,00	1,00	1,00
Vert.	0,517	2,02	0,79	2,60
Bleu brillant....	0,458	4,69	1,10	7,69
Violet..........	0,416	28,78	1,74	25,54

La lumière idéale serait celle qui donnerait le même spectre que la lumière solaire, car elle permettrait de distinguer aisément les corps colorés, ce que ne font pas la plupart des éclairages : l'acétylène semble se rapprocher le plus de cette lumière, l'arc électrique donne une lumière trop riche en rayons rouges, mais qu'on peut corriger en augmentant la longueur de l'arc (arc en vase clos) et en employant comme globe des verres colorés légèrement en bleu. Le gaz ordinaire tend à donner aux corps une apparence rougeâtre qui se trouve encore augmentée par la facilité qu'ont les corps de laisser passer les rayons rouges.

On peut corriger la couleur d'une lumière au moyen de sa couleur complémentaire, c'est-à-dire par l'addition d'une couleur qui, mélangée à elle, donne du blanc. C'est ainsi que le violet et le jaune, le bleu et l'orangé, le vert et le pourpre sont, deux à deux, des couleurs complémentaires. Si l'une des couleurs domine, la nuance se rapproche d'elle.

Dans une couleur il y a deux caractéristiques : le *ton* ou *nuance* et sa *saturation*. Le ton correspond à la position que l'on peut donner à la couleur dans le spectre ; quant à la saturation, on peut la définir comme le degré de pureté de cette couleur. Plus une couleur est mélangée de blanc, moins elle est saturée.

Toute lumière colorée produit sur la rétine trois sensations distinctes et successives suivant son intensité. L'œil aperçoit d'abord une lumière, puis il en distingue la couleur et enfin

il peut reconnaître les objets qu'elle éclaire. Les intensités lumineuses correspondant à chacune de ces sensations ne sont pas les mêmes pour chaque couleur. Ce qui revient à dire que deux lumières diversement colorées ne donnent pas le même éclairement avec une intensité réelle bien différente. M. Augustin Charpentier a déterminé à ce sujet le rapport qui existe pour les radiations les plus importantes :

1° Entre la quantité de lumière correspondant à la sensation chromatique et celle de la sensation incolore prise comme unité ; ce rapport est de :

Pour le rouge	4,0
— l'orangé	5,5
— le jaune	9,6
— le vert moyen	196,0
— le bleu franc	625,0

Il n'y a donc pas lieu d'essayer de ramener les intensités de deux lumières à la valeur correspondant à la disparition de la couleur pour pouvoir les comparer comme on l'a fait quelquefois;

2° Entre la quantité de lumière fournie pour la vision distincte et celle nécessaire à la sensation chromatique; ce rapport est sensiblement constant et égal à 1,85. En multipliant les chiffres précédents par 1,85, on aura la quantité de lumière correspondant à la vision distincte, la quantité de lumière nécessaire pour produire la sensation incolore étant prise comme unité. Il faut donc 20 fois plus de lumière verte et 60 fois plus de lumière bleue que de lumière jaune pour obtenir la netteté de vision.

239. Photométrie des sources colorées. — Il est très difficile, sinon impossible, d'après les observations précédentes, de mesurer l'intensité lumineuse des foyers colorés avec les procédés photométriques ordinaires; il faut recourir à des moyens spéciaux.

M. Crova a indiqué une méthode particulière basée sur les observations suivantes :

Les spectres étalés de deux lumières donnant, sur l'écran d'un photomètre, le même éclairement, sont loin d'être com-

parables en toutes leurs parties. Vers l'extrémité violette, le rapport des radiations sera plus grand ou plus petit que l'unité ; vers le jaune, il se rapprochera de l'unité pour changer de sens aux rayons rouges. Il suffira donc de comparer ces lumières dans le voisinage des radiations dont le rapport est égal à 1, en ayant soin d'absorber toutes les autres. Dans le cas du foyer électrique et de la carcel, cette radiation est voisine de la raie D, c'est-à-dire vers le jaune ; il suffira donc d'interposer entre l'œil et l'écran photométrique une substance qui ne laisse passer que les rayons entre les raies C et E. La substance proposée est une solution ayant la composition suivante :

Perchlorure de fer anhydre sublimé	22gr,321
Chlorure de nickel cristallin	27 ,191
Eau distillée	100 ,000

On sature cette solution de chlore et on en remplit une cuve transparente à faces parallèles. Lorsque la couche a 7 millimètres d'épaisseur, elle ne laisse passer que les radiations comprises entre les deux raies C et E. Ce système à l'inconvénient de nécessiter une méthode spéciale pour chaque foyer différent à mesurer.

Spectrophotométrie. — On se sert également d'appareils spéciaux ou spectrophotomètres dans lesquels on compare entre eux le spectre de deux lumières. Dans celui de M. Brace, on a deux prismes rectangulaires égaux accolés dont l'ensemble constitue un prisme équilatéral. L'une des faces juxtaposées est argentée, dans sa partie moyenne, suivant une bande perpendiculaire aux arêtes qui sont verticales. Les deux prismes sont collés par du baume de Canada. Deux collimateurs envoient, sous le même angle, leurs faisceaux aux deux faces dans le prolongement l'une de l'autre, une partie de l'un des faisceaux est réfléchie presque totalement sur l'argenture, une partie de l'autre traverse la masse des deux prismes; les directions sont encore parallèles à la sortie pour les rayons de même couleur. On obtient ainsi dans une lu-

nette deux spectres, dont l'un s'étend entre les deux parties de l'autre.

MM. Bunte et Eitner ont fait des essais comparatifs au spectrophotomètre de la lumière Boule, appelée aussi lumière globulaire, de celle au gaz comprimé et des brûleurs à incandescence. La lumière des sources à comparer était décomposée par un prisme, de sorte qu'il se formait deux bandes colorées superposées, dont l'une représentait le spectre de la lampe à mesurer et l'autre celui de la lampe étalon Hefner. Au moyen d'un collimateur chaque partie du spectre, c'est-à-dire chaque couleur, pouvait être séparée et analysée. Une échelle graduée (*fig.* 126) permettait de fixer dans le spectre la position de la lumière mesurée et de toujours découper, dans le spectre, les espaces occupés par chaque couleur. On a obtenu les chiffres suivants en prenant, la lampe Hefner comme unité dans toutes les couleurs :

	ROUGE	JAUNE	VERT	BLEU	VIOLET
Divisions de l'échelle graduée......	32	50	65	95	126
Longueur d'onde moyenne.........	670 λ	589	540	477	434
Lumière à incandescence (P. 50 m/m).	31 bougies,1	44,9	59,5	73,9	64,1
Gaz comprimé à 0a,2..............	160 bougies,4	252,9	319,7	484,3	529
Lumière globulaire manchon double (P. 1a,1)......................	421,2	578,2	710,5	986,6	1.033.6

Ces chiffres sont la moyenne de deux mesures obtenues après avoir retourné le photomètre de 180°. Un très grand nombre d'autres essais ont été faits en faisant varier l'unité, soit qu'on ramène les chiffres à celui du rouge pris comme unité, soit qu'on compare directement la lumière à incandescence ordinaire à la lumière globulaire ; les résultats ont été les mêmes, c'est-à-dire que la lumière à double manchon et à 1a,1 de pression avait l'intensité lumineuse la plus élevée.

On peut encore déterminer l'intensité relative de deux lumières hétérogènes en se basant sur la particularité suivante signalée par MM. Rood et Charpentier. Quand on observe alternativement les rayons de deux sources de couleur très différente, l'alternance produit, en général, un papillotement que l'on peut faire disparaître en faisant varier graduellement l'intensité de l'une des sources. Pour utiliser ce

principe, M. Rood éclaire directement les deux faces verticales et rectangulaires d'un prisme d'albâtre. Devant le prisme oscille une lentille cylindrique plan-concave qui envoie successivement dans l'œil de l'observateur les rayons provenant des deux faces ; on déplace la source à étudier jusqu'à faire disparaître le papillotement ; c'est le moment où les deux foyers ont la même intensité. M. Withman procède autrement; il divise en deux parties égales, par un méridien, un tronc de cône de $3^{cm},7$ de haut, ayant comme bases $0^{m},20$ et $0^{m},15$. Il applique les deux masses l'une contre l'autre, après en avoir fait tourner une de 180°. L'ensemble est mis en rotation autour de l'axe commun des cônes, qui est parallèle à celui des photomètres. L'inconvénient du procédé est que, si on recommence l'essai avec des intensités différentes, le rapport change.

240. Mesure photométrique des foyers très intenses. — Avec les appareils précédents. les mesures ne sont possibles que si les foyers ont des intensités sensiblement voisines; il n'en est plus de même si elles sont très différentes et si la source à essayer est très intense; il est nécessaire alors de recourir à des procédés spéciaux :

1° On peut prendre, comme terme de comparaison, une source lumineuse assez élevée et assez constante, dont on a déterminé, au préalable, le pouvoir éclairant au moyen d'un étalon ordinaire, la bougie ou la carcel. Il existe des lampes à gaz ou au pétrole de 5 ou 10 carcels d'un régime suffisamment constant pour pouvoir être utilisées dans ces conditions;

2° On peut intercaler, sur le faisceau lumineux émis par le foyer le plus intense, un diaphragme muni d'une lentille divergente biconcave : l'éclairement obtenu par la réduction du foyer se trouve amoindri dans une certaine proportion qui permet de diminuer la distance de ce foyer à l'écran.

Dès lors, si on pose :

d, distance du foyer à la lentille;

f, distance focale principale de la lentille;

α, rayon du cercle éclairé sur l'écran lorsque le faisceau traverse le diaphragme sans lentille;

α', rayon du cercle agrandi par l'interposition de la lentille dans le diaphragme;

r, rayon du diaphragme;

β, distance du diaphragme à l'écran, — la divergence des rayons frappant l'écran est augmentée comme si la source considérée était au foyer conjugué, écarté de la lentille d'une distance d' définie par la relation :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d'} - \frac{1}{d};$$

on aura ensuite successivement les relations suivantes :

$$\frac{\alpha}{r} = \frac{d + \beta}{d},$$
$$\frac{\alpha'}{r} = \frac{d' + \beta}{d'};$$

d'où :

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = 1 + \frac{\beta d}{(d + \beta) f}.$$

Si maintenant on considère que les éclairements produits, sans l'interposition et avec l'interposition de la lentille, sont dans le rapport des carrés des rayons α' et α, on en déduit que, dans l'expression de la loi des distances, il faut faire intervenir non pas la longueur $d + \beta = l$, mais la distance virtuelle $d_1 = d + \beta + \frac{d\beta}{f}$.

Dès lors, en remplaçant d par sa valeur $l - \beta$, on trouve, toutes simplifications faites :

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'} = \frac{\left[l\left(1 + \frac{\beta}{f}\right) - \frac{l^2}{f}\right]^2}{l^2}.$$

Cette méthode, préconisée par MM. Perry et Ayrton, s'applique indifféremment à tous les photomètres.

241. Éclat. — Dans tout ce qui précède, on a supposé les diverses sources lumineuses réduites à un point. En réalité, il n'en est rien, et deux foyers de même intensité peuvent avoir des dimensions bien différentes; de là l'*éclat*, qui n'est autre que l'intensité lumineuse d'un foyer par unité de surface. L'unité d'éclat est le *pyr par centimètre carré*.

L'éclat dépend pour un radiateur donné de sa température et le rapport de l'énergie lumineuse à l'énergie totale, c'est-à-dire le rendement, augmente avec cette température, mais dans des proportions variables avec les différents corps. Il croît avec le pouvoir réfléchissant des corps dont le coefficient, tout au moins pour les métaux, varie dans le même sens que la longueur d'onde. Il en résulte que, pour l'éclairage, on devra chercher à obtenir le meilleur rendement en adoptant des températures élevées et en employant des corps réfléchissants; c'est ce qui explique le rendement élevé de la nouvelle lampe Auer et l'emploi de filaments brillants pour la lampe à incandescence. Pour l'obtention des températures élevées, on se trouve limité soit par la fusion du corps radiant, soit par la nature même de la puissance calorifique, comme dans le cas de flammes par exemple.

Les corps incandescents, et en particulier les substances réfractaires qui entrent dans la composition des manchons, doivent leur éclat à leur grand pouvoir émissif, comme l'ont démontré les expériences de M. St. John et de MM. Boudouard et Le Châtelier.

En ce qui concerne les flammes éclairantes, leur éclat dépend à la fois de la température et de la densité des particules de carbone, cette densité étant prise pour toute l'épaisseur de la partie considérée de la flamme, mais rapportée à la surface visible. Elle est extrêmement faible, les flammes étant en quelque sorte transparentes. M. Fery a trouvé, pour l'éclat maximum d'un bec papillon dans le sens du plat, 0,35 de l'éclat moyen de la flamme de la carcel, et 7,2 de la même unité dans le sens de la tranche. Pour une mèche plate de lampe à pétrole, la différence est moindre; pour un brûleur papillon à l'acétylène, l'éclat est de 7,2 à plat et 33 par la tranche, la densité du carbone dans ce genre de flamme étant plus élevée. Quant à la température des

flammes, elle varie avec chaque combustible et dans chaque partie de la flamme.

Au point de vue des applications, l'éclat d'une source éclairante est très important. En effet, la sensation lumineuse étant due à la destruction d'une substance de l'œil, le pourpre rétinien, si cette destruction est trop rapide il y a éblouissement et par conséquent confusion dans la netteté de la vision.

L'effet est le même si la source lumineuse se trouve dans le champ visuel ; en effet, outre la perception directe des objets fixés par l'œil, la rétine reçoit celle des corps voisins, la vision sera d'autant moins nette que leur éclat sera plus considérable.

Il en résulte que, dans tout éclairage, les foyers lumineux d'un trop vif éclat ne devront pas être placés dans le champ visuel. Dans ce cas, il est préférable d'atténuer en quelque sorte l'intensité de ces lumières au moyen de globes, qui en absorbent une certaine quantité il est vrai ; mais la netteté de la vision est améliorée d'autant. C'est pour un motif analogue qu'en remplaçant les flammes à grande surface, comme celles des foyers à gaz ou à huile, par des lampes à incandescence d'un éclat supérieur, on est obligé d'accroître de 10 0/0 la puissance lumineuse totale de ces lampes pour obtenir le même effet.

§ 2. — Utilisation de la lumière

242. Éclairement. — Jusqu'à présent nous ne nous sommes occupés que du foyer lumineux lui-même ; mais ce qu'il y a d'intéressant, c'est de connaître la quantité de lumière fournie sur la surface éclairée, c'est-à-dire l'*éclairement*. L'éclairement produit par une source lumineuse sur une surface dépend de son orientation ; il atteint son maximum s un plan perpendiculaire à la direction des rayons lumine

L'unité d'éclairement est la *bougie-mètre*, ou *lux :* c' l'éclairement produit par une bougie décimale, ou pyr, 1 mètre.

Considérons (*fig.* 278) une source lumineuse placée à u

hauteur h, et un point B, à une distance d du pied de la verticale ; la droite OB fait un angle α avec la verticale. Si, du point O comme centre, avec OB comme rayon, on décrit une sphère, l'éclairement en B est facile à obtenir, d'après la loi du carré des distances, et en remarquant que l'éclairement sur l'horizontale est la projection de l'éclairement normal E_n

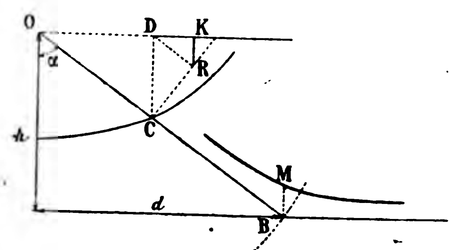


FIG. 278. — Courbe des éclairements.

sur la partie correspondante de la sphère. Soit Iα l'intensité suivant l'angle α, on aura :

$$E_B = E_n \cos\alpha = \frac{I\alpha \cos\alpha}{OB^2} = \frac{I\alpha \cos^3\alpha}{h^2}.$$

h^2 étant une constante, pour avoir l'éclairement des différents points du plan, il suffira de calculer le facteur I$\alpha \cos^3\alpha$. Iα est le résultat d'essais photométriques, $\cos^3\alpha$ est calculé à l'avance pour certaines valeurs de α, qu'on rencontre le plus souvent.

α	$\cos^3\alpha$	α	$\cos^3\alpha$
15°.0	0,9022	71°,10	0,0341
22 ,3	0,7880	71 ,34	0,0315
30 ,0	0,6495	73 ,17	0,0238
37 ,3	0,5000	75 ,00	0,0173
45 ,0	0,3535	75 ,58	0,0141
52 ,3	0,2255	78 ,42	0,0075
60 ,0	0,1250	81 ,28	0,0033
63 ,3	0,0887	84 ,18	0,0010
68 ,1	0,0413	85 ,42	0,0004

Au lieu du calcul, on peut employer une méthode graphique, d'autant plus commode que, le plus souvent, on possède la courbe des intensités photométriques. En C (*fig.* 278), point de rencontre du rayon OB avec la courbe photométrique, on élève une perpendiculaire CR; puis on mène la verticale de C jusqu'en D, par D une parallèle à OC jusqu'en R, et finalement la verticale KR. Cette ligne KR est égale à OC $\cos^3 \alpha$, c'est-à-dire à $I\alpha \cos^3 \alpha$, comme il est facile de le démontrer. Pour avoir la valeur de E_B, il suffira de diviser OC $\cos^3 \alpha$ par h^2. En prenant h^2 comme échelle de l'intensité lumineuse, la ligne KR mesurera l'éclairement. Pour avoir un point M de la courbe, au point B, il suffira d'élever MB = KR. En faisant la construction pour une série de points C, on aura la courbe des éclairements correspondant à une hauteur h. Inversement, connaissant cette courbe, pour avoir l'éclairement en un point M à une distance d du foyer, il suffit de mesurer cette longueur d sur la ligne des abscisses et d'élever l'ordonnée correspondante.

Au lieu de projeter la lumière sur un plan horizontal, on pourrait mesurer l'éclairement sur un plan vertical. On aura:

$$E_B = E_n \sin \alpha = \frac{I\alpha \sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2},$$

et le problème est le même que précédemment.

243. Influence de la hauteur du foyer. — La hauteur du foyer a une grande importance dans la distribution de la lumière sur le sol; pour le démontrer, remplaçons, dans la formule générale de l'éclairement, h en fonction de l'abscisse d du point B; on a:

$$d = h \operatorname{tang} \alpha,$$

d'où:

$$E = \frac{I\alpha \cos \alpha \sin^2 \alpha}{d^2}.$$

Si on se donne d, E sera nul pour $\alpha = 0$ et pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire lorsque le foyer est à une distance infinie ou sur le plan horizontal ; la valeur de E passe donc par un maximum qu'il est facile de trouver, en annulant la dérivée $\frac{dE}{d\alpha}$, c'est-à-dire pour :

$$2 \cos^2 \alpha \sin \alpha - \sin^3 \alpha = 0,$$
$$2 (1 - \sin^2 \alpha) = \sin^2 \alpha ;$$

on trouve alors que $\sin^2 \alpha = \frac{2}{3}$; l'angle α correspond à 54°44'.

On en déduit :

$$d = h \sqrt{2} \qquad \text{ou} \qquad h = 0,707d.$$

Ce chiffre, trop élevé, ne saurait être admis dans la pratique.

Pour une même inclinaison, les éclairements étant en raison inverse du carré de la hauteur, il est facile, connaissant la hauteur correspondant à un éclairement maximum E, de déterminer la nouvelle hauteur pour une seconde valeur de cet éclairement maximum E' ; on a :

$$h' = h \sqrt{\frac{E}{E'}}.$$

244. Mesure des éclairements. — La mesure directe de l'éclairement se fait au moyen des photomètres spéciaux de Weber et de Mascart.

Le photomètre de *Weber* comporte un tube A horizontal de 30 centimètres de long et 8 de diamètre, fixé sur un pied F, et un second tube B mobile dans un plan perpendiculaire à l'axe du précédent. Les deux tubes sont noircis intérieurement. Au moyen d'un secteur gradué, on indique l'inclinaison du tube mobile sur l'horizontale; une vis de pression permet de le fixer dans cette position (*fig.* 279).

Le principe consiste à éclairer la moitié d'un écran K, monté dans le tube B, par une lumière type *c*, et l'autre moitié, par les rayons issus de l'éclairement à mesurer. Un diffuseur opale *f*, pouvant se déplacer le long d'une échelle graduée, sert à régler l'éclairement de *c*. La lumière diffuse de *f* est réfléchie au moyen d'un prisme à réflexion totale et tombe sur l'œil, quelle que soit l'inclinaison de B. Celle de l'éclairement à mesurer traverse le tube B, dans lequel on

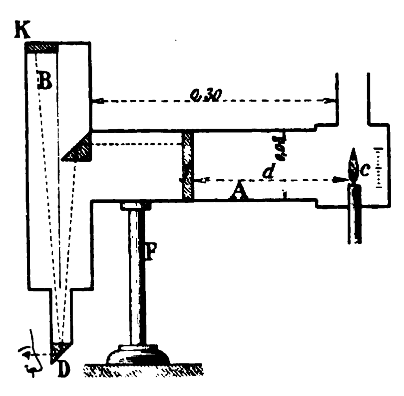


Fig. 279. — Photomètre de Weber.

peut superposer plusieurs lames de verre dépoli ou coloré K, dont on connaît le coefficient d'absorption, suivant qu'on veut obtenir un éclairement plus ou moins intense.

Pour faire un essai, après avoir dirigé le tube B sur une surface éclairée, on cherche la position à donner à l'écran *f* pour avoir l'égalité d'éclairement en D. On opère de la même façon pour une seconde surface. Le rapport d'éclairement des deux surfaces est égal au rapport des carrés des distances de *c* à l'écran *f*. Si l'on a eu soin de prend— l'éclairement d'une des surfaces comme unité, on pourra déduire d'autre.

Si les lumières sont de couleur différente, on interpo devant l'oculaire un verre rouge, puis un verre vert, et résultat sera multiplié par un coefficient *k* dont la vale varie suivant les chiffres obtenus avec le verre vert et l

verre rouge ; un tableau joint à l'appareil donne la valeur correspondante de k.

Avec cet appareil, il y a deux visées à faire ; avec le photomètre de M. *Mascart* (*fig.* 280), on n'en fait qu'une, à la condition de connaître l'intensité du foyer qui produit la clarté type. Les deux portions d'un écran D, placé comme précédemment dans un tube, sont éclairées, l'une par la lumière étalon, l'autre par l'éclairement à mesurer. La lumière étalon à huile de colza E illumine un verre dépoli dont l'image, par une lentille H, vient se former après deux réflexions à 45° sur la moitié de D. La lumière générale traverse un

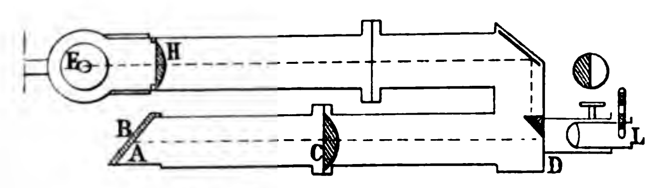


Fig. 280. — Photomètre de Mascart.

écran A, se réfléchit en B, et son image, à travers une lentille C, tombe sur la seconde moitié de D. L'écran A, grâce à la mobilité du tube, peut se déplacer dans tous les azimuts.

Les deux lentilles H et C, servant à la production des images, sont munies d'une ouverture rectangulaire que l'on peut régler à volonté au moyen de volets. C'est par la mesure des dimensions de ces ouvertures que se détermine l'éclairement d'une surface ; il suffit d'en prendre le rapport. On peut graduer, au préalable, les volets, en prenant comme unité l'éclairement obtenu en A par une carcel placée à 1 mètre et qui vaut, par conséquent, 10 bougies-mètres ou 10 lux. L'écran D peut s'observer au moyen d'une loupe L, devant laquelle on peut disposer des verres de différentes couleurs.

Photomètre Henry. — Cet appareil est basé sur la loi de déperdition lumineuse avec le temps du sulfure de zinc phosphorescent, que M. Henry est arrivé à préparer indus-

triellement. Il consiste (*fig.* 281) en trois tubes noircis intérieurement coulissant l'un sur l'autre. Celui qu'on applique contre l'œil A est muni, du côté de la visée, d'une lentille

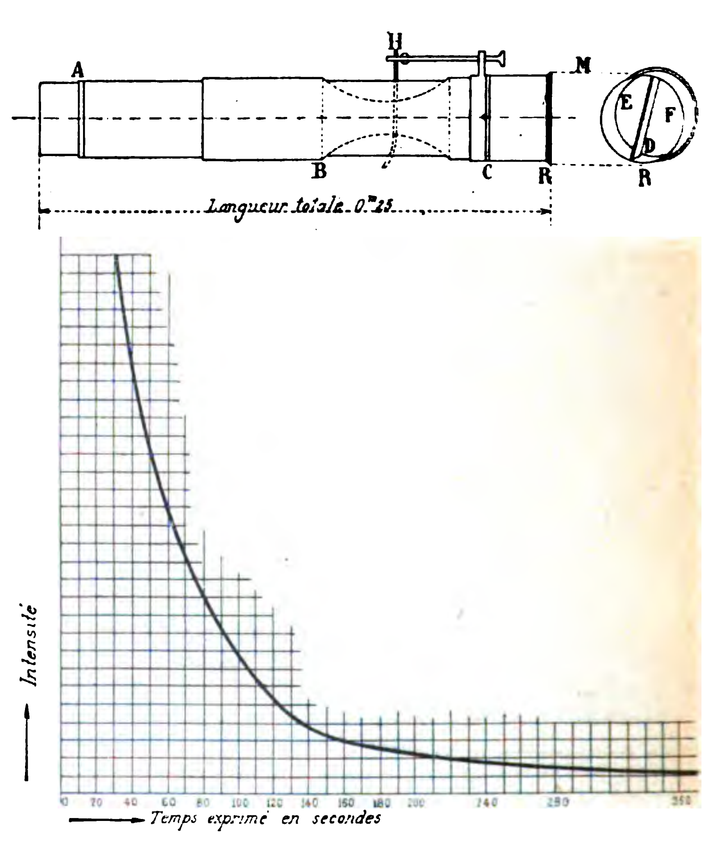


Fig. 281. — Photomètre Henry.

convergente à grande distance focale ayant pour but de supprimer, de la vision distincte, les parois du tube. Le tube du milieu B présente deux échancrures ellipsoïdales en haut et en bas, à travers lesquelles passe un ruban de magné-

sium de 3 millimètres de large sur 150 de long, suspendu à la potence H et isolé de l'intérieur de l'appareil par deux verres protecteurs. Les dimensions du ruban suffisent pour donner au sulfure qui recouvre le tube intérieurement l'illumination maxima. Enfin, à l'avant, le troisième tube C est terminé par deux écrans semi-circulaires, séparés par une cloison D : l'un E, formé par un verre dépoli de couleur jaune verdâtre analogue à celle du sulfure et auquel on peut substituer des écrans d'un pouvoir absorbant moindre, reçoit la lumière extérieure ; l'autre F est recouvert de zinc.

Pour faire un essai, on enlève le tube antérieur ; puis, après avoir enflammé le ruban de magnésium, on note le moment de l'extinction ; on remet en place le tube antérieur ; on fait une visée, et on mesure de nouveau le temps au moment où il y a égalité d'éclat entre l'éclairement du sulfure et celui de l'écran avant. Il suffit ensuite de reporter ce temps sur les abscisses d'une courbe dont les ordonnées correspondent à l'éclairement. Cette courbe a été établie en donnant la valeur 100 à l'éclairement du sulfure de zinc correspondant à l'éclairement d'une bougie à $3^m,75$, éclairement qu'il a acquis au bout de 85 secondes. L'équation de cette courbe est approximativement, i étant l'intensité, t le temps :

$$i^{398} (t + 28,35) = 1.701,2.$$

L'ordonnée mesurée donne l'éclairement en lux.

C'est avec cet appareil que M. Henry a mesuré l'éclairement de la pleine lune, des points du ciel opposés à la lune. Il sert surtout pour les éclairements peu intenses. La coloration verdâtre du sulfure contribue à la précision des observations, car, dès que son éclairement diminue, il paraît bleuâtre par rapport à la teinte jaune de l'écran translucide. Sur la partie C du tube moyen, on peut intercaler un nombre variable de verres dépolis, qui permettent d'atténuer les éclairements trop intenses.

245. Éclairement minimum. — Connaissant la courbe des éclairements de plusieurs foyers de hauteur h, il est facile de

déterminer l'éclairement résultant produit sur un point par tous ces foyers, en admettant que les éclairements s'ajoutent arithmétiquement, ce qui est loin d'être exact. Il suffit pour cela de mesurer les distances n_1, n_2, ..., n_n du point en question au pied des différents foyers; au moyen

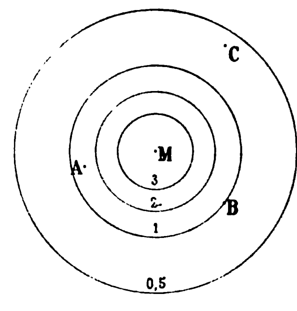


Fig. 282. — Éclairement d'un point par plusieurs foyers.

des courbes d'éclairements, on détermine les éclairements e_1, e_2, ..., e_n correspondants. L'éclairement cherché est la somme des éclairements partiels.

Une méthode graphique fort simple consiste à figurer sur une feuille de papier les circonférences successives correspondant à des intensités décroissantes, de bougie en bougie par exemple. Si A, B, C (*fig.* 282) sont les foyers con-

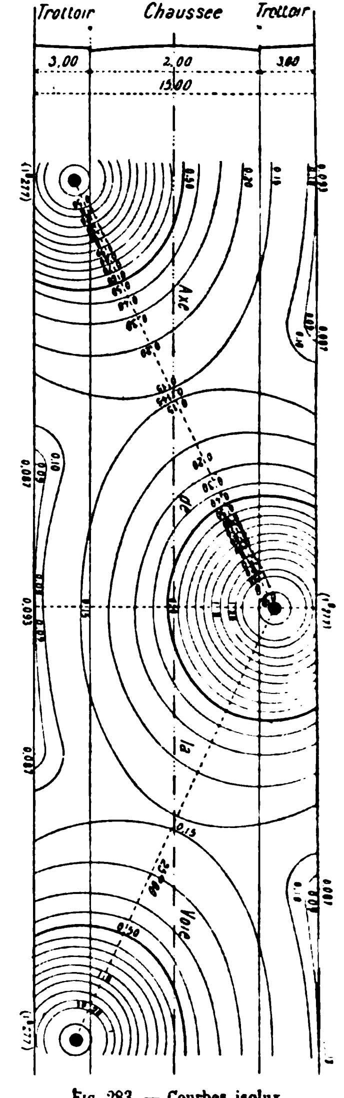


Fig. 283. — Courbes isolux.

sidérés, M le point en question, il suffira de placer le centre des circonférences concentriques au point M ; les points A, B, C se trouveront sur des cercles ou entre deux ; par simple interpolation, on déterminera l'éclairement correspondant, et on aura approximativement :

Éclairement dû à	A...............	$1^{\text{lux}},5$
—	B...............	1 ,0
—	C...............	0 ,6

L'éclairement total sera de $1,5 + 1,0 + 0,6 = 3^{\text{lux}},1$.

Lorsqu'il s'agit de l'éclairement horizontal d'une rue ou d'une place, il est intéressant de connaître les points les plus obscurs ; on trace au pied de chaque candélabre les cercles correspondant à des éclairements déterminés. On peut alors, aux divers points de ce plan, par une simple addition, déterminer la valeur de l'éclairement total. Si on réunit tous les points de même valeur, on obtient une série de courbes d'égal éclairement ou *isolux* (*fig.* 283) ; les points situés sur les courbes extrêmes auront un éclairement minimum.

Quand les foyers sont très nombreux, cette construction devient longue, on la simplifie en ne traçant plus de cercle au delà de 80 mètres ; l'éclairement à cette distance est, en effet, très faible et détruit par l'absorption atmosphérique.

246. Éclairement moyen. — Connaissant l'éclairement en divers points d'un plan, il est facile d'en déduire l'éclairement moyen, qui permet de comparer deux éclairages entre eux. Soit $s_1, s_2, ..., s_n$, la série des surfaces limitées par des courbes d'intensité décroissante. Si e est la différence d'éclairement entre deux courbes consécutives ; e_0, l'éclairement minimum ; e', la différence entre l'éclairement maximum et celui de la courbe de plus grand éclairement ; e'', la différence entre la courbe de plus faible éclairement et l'éclairement minimum e_0, on aura pour l'éclairement moyen E_m correspondant à une surface S :

$$SE_m = \frac{e's_1}{2} + e\left(\frac{s_1+s_2}{2} + \frac{s_2+s_3}{2} + \frac{s_{n-1}+s_n}{2}\right) + e''\frac{s_n+S}{2} + e_0S.$$

L'éclairage est d'autant meilleur que le rapport $\frac{e_0}{E_m}$ se rapproche de l'unité.

Au lieu de cette formule, on pourrait prendre celle de Simpson ; tout le problème revient en effet à calculer l'ordonnée moyenne de la courbe d'éclairement.

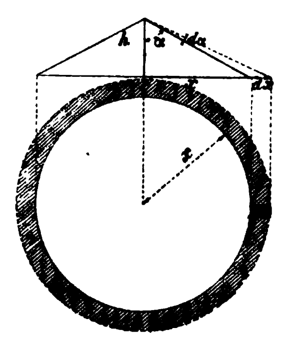


Fig. 284. — Eclairement moyen.

On peut déterminer d'une autre façon cet éclairement moyen. Soit I_s l'intensité moyenne sphérique ; considérons une couronne de rayon x et de largeur dx (*fig.* 284), la quantité de lumière reçue dq sera égale à la surface de la couronne multipliée par l'éclairement à la distance x ; on aura :

$$dq = \frac{I_s \cos^3 \alpha \, 2\pi x dx}{h^2},$$

et comme on a :

$$\frac{x}{h} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha},$$

il en résulte :

$$dx = \frac{h d\alpha}{\cos^2 \alpha},$$

ce qui donne :

$$dq = 2\pi \, I_s \sin \alpha \, d\alpha \, ;$$

en intégrant de o à α, on aura la quantité de lumière reçue par le cercle de rayon x, et l'éclairement moyen sera égal à cette quantité divisée par la surface $2\pi x^2$; on aura :

$$E_m = \frac{2 I_s}{x^2} \int_0^\alpha \sin \alpha \, d\alpha = \frac{2 I_s}{x^2} (1 - \cos \alpha).$$

Pour résoudre le problème inverse, c'est-à-dire déterminer la valeur du rayon x, de manière à avoir un éclairement moyen déterminé E_m, comme on se donne généralement la hauteur du foyer h, il vaut mieux procéder par calculs successifs, c'est-à-dire déterminer la valeur de E_m pour des valeurs croissantes de α et de x, et, dans celles qu'on aura trouvées, choisir la plus rapprochée.

Il y a un cas particulier où le calcul est très simple, c'est celui pour lequel h correspond à l'éclairement maximum ; on sait qu'on a alors $\cos\alpha = \sqrt{\frac{1}{3}}$; on aura pour x^2 :

$$x^2 = \frac{2I_s}{E_m}\left(1 - \sqrt{\frac{1}{3}}\right) = \frac{0.845 I_s}{E_m}.$$

247. Flux de lumière utile. — M. Blondel a imaginé une méthode plus précise que la précédente, tout en n'étant

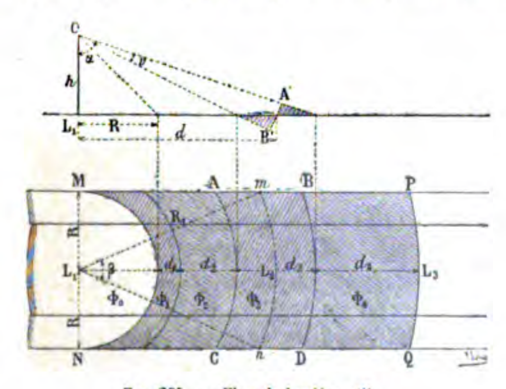


Fig. 285. — Flux de lumière utile.

guère plus longue. Au lieu de prendre l'intensité sphérique moyenne, on détermine le flux lumineux sous différents angles, et on évalue la quantité de lumière reçue par les zones correspondant à ces différents flux ; il suffira ensuite de les totaliser pour avoir le flux de lumière utile.

Supposons le foyer L_1 (*fig.* 285), placé à une hauteur h dans une rue, et donnons-nous la courbe photométrique, la courbe

des flux et celle de l'éclairement correspondant à cette hauteur. Au moyen de la courbe des flux, on déterminera d'abord le flux correspondant à l'angle solide du cône lumineux de hauteur h, et ayant comme base la circonférence tangente à la ligne des maisons décrite de L_1 comme centre (*fig.* 285).

Le demi-angle au sommet a comme valeur $\tang \alpha = \frac{R}{h}$. En se reportant à la courbe des flux, il est facile d'évaluer en lumens la valeur du flux sur la surface correspondant à cet angle α. La lumière émise par le foyer étant supposée symétrique par rapport au plan vertical OL_1, nous chercherons la lumière envoyée d'un côté de ce plan, sauf à la répartir sur une surface en rapport, ce qui facilite le calcul dans le cas de plusieurs foyers. La valeur donnée par la courbe des flux devra alors être divisée par 2. Soit Φ_0 le flux correspondant à cette surface, dite zone intérieure. Évaluons maintenant la lumière émise entre le foyer L_1 et le foyer L_3; outre la zone intérieure, on pourra obtenir une série de zones 1, 2, 3, 4 correspondant à des flux Φ_1, Φ_2, ..., Φ_4 ; il est inutile de pousser très loin cette division ; de plus, la limite d'éclairement, c'est-à-dire l'intervalle L_1L_2, ne doit pas excéder 80 mètres, car, au delà, même avec des foyers très intenses, la lumière se trouve absorbée presque totalement.

La valeur d'un des flux Φ correspondant à une zone ABCD est facile à calculer ; elle est égale au produit de la surface ABCD par l'éclairement moyen correspondant à cette surface. En effet la quantité de lumière reçue par ABCD est sensiblement la même que celle de la zone A'B' correspondant à l'angle v. L'éclairement moyen se mesure sur la courbe de l'éclairement à une distance d correspondant à la ligne moyenne mn de A et B. De même, pour la valeur de la surface ABCD, il n'y aura qu'à multiplier la longueur mn de l'arc β par l'intervalle d_3 des deux cercles. Le flux total est égal à la somme des flux partiels $\Phi_0 + \Phi_1 + ...$

On aura alors pour l'éclairement moyen exprimé en lux

$$E_m = \frac{\Phi_0 + \Phi_1 + \Phi_2 \dots \Phi_4}{\text{Surf. MNPQ}}.$$

On peut simplifier le calcul en se contentant de déterminer la valeur de Φ_0 et d'une zone ou deux ; l'approximation est suffisante.

Si on avait voulu calculer le flux utile jusqu'à une hauteur h', on aurait fixé l'éclairement non plus pour une hauteur h, mais pour $h - h'$. Le flux trouvé Φ' est plus grand que Φ, et l'éclairement moyen est égal, si a est la longueur de la surface MNPQ, b sa largeur, à :

$$\frac{\Phi'}{\text{Surf. MNPQ} + 2ah'} = \frac{\Phi'}{ba + 2ah'} = \frac{\Phi'}{(b + 2h')a},$$

ce qui revient à ajouter à la largeur de la rue b deux fois la hauteur h'.

Enfin, dans bien des cas, on peut se contenter de prendre toute la lumière émise au-dessous du plan horizontal du foyer ; la mesure peut en être faite au moyen du flux hémisphérique inférieur, qui est donné par la courbe d'intensité sphérique moyenne.

248. Éclairement uniforme. — Il y aurait intérêt à avoir un foyer donnant un éclairement uniforme sur le sol. L'équation de l'éclairement

$$E = \frac{I\alpha \cos^3 \alpha}{h^2}$$

deviendrait :

$$I\alpha \cos^3 \alpha = \text{constante}.$$

$I\alpha$ se mesure sur la courbe polaire photométrique, et on a, en désignant par ρ la valeur de $I\alpha$:

$$\rho = \frac{\cos^3 \alpha}{k}.$$

Il est facile de construire géométriquement cette courbe (*fig.* 286). Soit A le foyer ; prenons une longueur $AB = k$ et

menons l'horizontale; elle rencontre le rayon vecteur AC en D; menons DF perpendiculaire à AC, et FC perpendiculaire à AF; on a alors :

$$AC = \frac{AF}{\cos \alpha} = \frac{AD}{\cos^2 \alpha} = \frac{AB}{\cos^3 \alpha} = \frac{k}{\cos^3 \alpha};$$

C est donc un point de la courbe. La tangente en ce point est facile à déterminer. Sa valeur égale $\frac{\rho}{d\rho'}$: $d\rho'$ étant la dérivée par rapport à α, on a

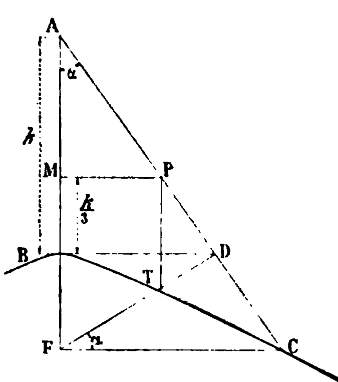


Fig. 286. — Courbe d'éclairement uniforme.

$$d\rho' = \frac{d\rho}{d\alpha} = \frac{k \cos^2 \alpha \sin \alpha}{\cos^6 \alpha}:$$

d'où :

$$\frac{\rho}{d\rho'} = \frac{\cos \alpha}{3 \sin \alpha}.$$

Prenons sur AB un point M tel que $BM = \frac{k}{3}$. Menons l'horizontale MP, puis la verticale PT jusqu'à la ligne FD; en joignant TC, on aura la tangente; en effet on a :

$$\text{tang TCD} = \frac{TD}{DC} = \frac{FD}{3DC} = \frac{CF \cos \alpha}{3FC \sin \alpha} = \frac{\cos \alpha}{3 \sin \alpha}.$$

La courbe est ainsi déterminée : pour $\alpha = 0$, on a $\rho = K$; et pour $\alpha = 90°$, on a $\rho = \infty$; enfin elle présente un po d'inflexion pour $\alpha = 30°$. Pour réaliser une pareille cour photométrique, il faudrait un foyer lumineux émettant s l'horizontale des rayons infinis, ce qui est inadmissible: tc tefois on peut chercher à s'en rapprocher.

On pourrait de même avoir sur le plan vertical l'écl

rement uniforme; en se reportant à la valeur de cet éclairement, on a :

$$E_v = \frac{I\alpha \sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2},$$

l'équation de la courbe photométrique donnant l'éclairement vertical constant serait $K = I\alpha \cos^2 \alpha \sin \alpha$.

§ 3. — Quantité de lumière

249. Éclairage intérieur. — 1° Gaz et incandescence électrique. — *Généralités.* — D'une manière générale, les quantités de lumière pour l'éclairage privé sont différentes de celles nécessaires à l'éclairage public. De plus, la quantité varie avec la nature des locaux éclairés; elle ne sera pas la même pour un théâtre que pour une halle de chemin de fer. Si on considère que la lumière ordinaire du jour est de 50 à 100 lux environ et qu'on se contente de 10 à 20 lux pour lire commodément, on voit toute la marge qu'on a pour réaliser un éclairage convenable. La grande question n'est pas de multiplier le nombre des foyers, mais, au contraire, d'en prévoir le nombre juste et de les répartir de façon à obtenir leur meilleure utilisation. Il n'y a pas de règles précises à ce sujet, mais on peut se baser sur quelques données pratiques permettant de fixer, soit le nombre de lux nécessaires pour un éclairage déterminé, soit plus simplement le nombre de bougies par unité de surface horizontale ou par mètre cube. Les mesures d'éclairement ayant été faites en nombre limité, on n'a souvent d'autres chiffres que le nombre des foyers employés.

Magasins. — Bureaux. — Salles d'études. — Pour les magasins, salles de vente, l'éclairement doit être assez élevé, particulièrement à l'étalage. A la Compagnie Parisienne, rue Condorcet, la salle de vente était éclairée par des brûleurs à flamme en dessous; l'éclairement maximum horizontal était, en certains points, de 100 lux, et l'éclairement minimum,

de 10; dans le sens vertical, les deux mêmes limites extrêmes atteignaient 46 et 3,3 lux; l'intensité lumineuse des foyers donnait 3^b,33 par mètre cube de local ou encore 11^b,5 par mètre carré de surface.

Pour les bureaux, on a trouvé à l'Hôtel des Postes de Paris (de Nerville) 23 lux sous la verticale des foyers et 3 lux dans les coins les plus obscurs. On admet du reste, pour les salles d'études, un éclairement de 15 à 25 lux sur les tables : soit une lampe de 20 bougies par table et 3 lampes pour 4 places. S'il s'agit d'un éclairage par diffusion, on peut considérer 10 à 15 lux comme un chiffre acceptable.

Herzog et Feldmann donnent, pour la quantité de lumière nécessaire, 1 lampe de 16 bougies :

Par 2^{m2},5 à 4 mètres carrés, dans les magasins de vente sans étalage;

Par 4 à 8 mètres carrés, dans les bureaux.

Pour les devantures, on calcule 3 à 5 lampes de 16 bougies par mètre courant.

Ateliers. — Usines. — Gares. — On peut prendre les chiffres suivants pour l'éclairage au gaz et à incandescence électrique suivant le cas :

Ateliers mécaniques, 1 foyer à incandescence par machine en plus de l'éclairage général;

Moulins, 0,3 à 1 bougie par mètre carré;

Tissages, 4 à 8 bougies par métier ou 1 à 2 bougies par mètre carré;

Filatures, 0,6 à 1 bougie par mètre carré (métier) et 0,25 à 0,50 bougie pour les autres locaux;

Salles d'attente de chemins de fer, 3 à 6 bougies par mètre carré.

Ces chiffres n'ont rien d'absolu et sont donnés à tit d'indication.

Appartements. — Nombre et hauteurs des foyers. — Pou l'éclairage privé, on adopte les brûleurs à incandescence g

ou électricité. Le calcul du nombre de foyers nécessaire est difficile, le mieux est de se reporter à des installations existantes. On a quelques règles empiriques : on peut, par exemple, évaluer le volume de la salle, la moitié du chiffre trouvé donne la quantité de bougies nécessaire.

Le tableau suivant, applicable à des foyers de 20 bougies, fournit également quelques données.

DIMENSIONS DU LOCAL		NOMBRE de FOYERS	HAUTEUR DES FOYERS au-dessus du plancher
Longueur = Largeur	Hauteur		
4m,70	3m,80	2 à 3	2m,00 à 2m,20
5 ,60	4 ,40	5 à 6	2 ,00 à 2 ,40
7 ,50	5 ,30	9 à 12	2 ,50 à 2 ,80
10 ,00	6 ,90	16 à 20	2 ,80 à 3 ,10
12 ,50	9 ,40	25 à 30	3 ,50 à 3 ,80
17 ,70	12 ,50	40 à 45	4 ,00 à 4 ,40
18 ,80	14 ,00	60 à 70	4 ,70 à 5 ,30
22 ,00	15 ,70	100 à 120	5 ,60 à 6 ,30

Si la surface est rectangulaire, il sera bon de la décomposer en carrés et d'appliquer autant que possible les chiffres précédents. Dans ce cas, la hauteur des foyers doit être de $\frac{2}{5}\frac{a+b}{2}$, les dimensions de la salle étant a et b.

Herzog et Feldmann estiment qu'il faut 1 lampe de 16 bougies dans :

Les salons	pour	3^{m2}, 5 à 4^{m2}
Les salles à manger........................		4^{m2}, 5 à 5^{m2}
Les chambres à coucher........................		8^{m2} à 10^{m2}
Les dépendances........................		10^{m2} à 15^{m2}

Lorsqu'on n'a qu'un seul foyer, il est facile de calculer la valeur de l'éclairement produit au point déterminé d'une table ou sur le plancher. En considérant la courbe photométrique de ce foyer, x et y les coordonnées du point éclairé à

une distance r du foyer, si α est l'inclinaison sur la verticale, on aura, pour l'éclairement :

$$E\alpha = \frac{I\alpha \cos \alpha}{r^2} = \frac{I\alpha \times y}{(x^2 + y^2)\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

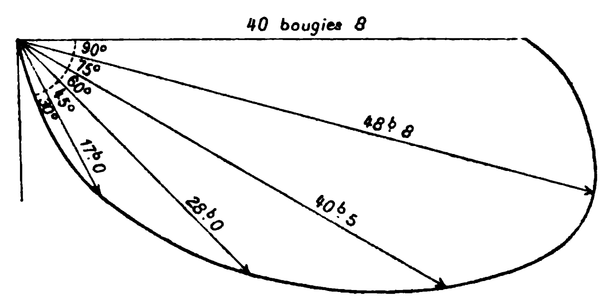


Fig. 287. — Courbe photométrique.

Ex. : soit un foyer dont la courbe photométrique est celle indiquée à la figure 287.

$\alpha =$	30°	45	60	75	90
$I\alpha =$	17boug	28	40,5	48,80	40,8

On pourrait construire, avec cette courbe photométrique, celle d'éclairement pour $y = 0,50$ (Voir n° 242), mais on peut faire le calcul directement, pour $y = 0,50$, $x = 0,67$; on a $\alpha = 50°$, soit $I\alpha = 32$ bougies, et par suite :

$$E\alpha = \frac{32}{\sqrt{\overline{0,50}^2 + \overline{0,67}^2}} = 40 \text{ lux}.$$

On peut, avec ces données, résoudre le problème invers c'est-à-dire calculer la valeur que devra avoir l'intensi lumineuse et, par suite, le débit du foyer, pour obtenir u éclairement donné. Soit, par exemple, un objet placé une distance de 1m,50 et une hauteur $y = 1$, dont l'éclaireme

devra être de 15 lux ; on aura, d'après la formule précédente, en remplaçant les lettres par leur valeur :

$$I\alpha = 15 \times 3,25 \sqrt{3,25} = 88 \text{ bougies},$$

$$\cos \alpha = \frac{E\alpha r^2}{I\alpha} = 0,554, \qquad \alpha = 65^\circ.$$

Le problème peut se résoudre en construisant la courbe d'éclairement du brûleur adopté pour les différentes hauteurs pratiques comprises, du reste, dans des limites assez restreintes; il suffit de voir ensuite si, pour le plancher ou à un niveau au-dessus, l'éclairement obtenu est suffisant avec un, deux brûleurs, etc., ou davantage s'il y a lieu.

2° Arc voltaïque. — L'éclairage à arc voltaïque ne s'emploie que dans les grands espaces suffisamment élevés pour bien utiliser toute la lumière. On peut dans les locaux importants, comme music-halls, magasins, halles, adopter l'incandescence et l'arc voltaïque, le mélange des deux lumières est assez satisfaisant. On construit également des lampes de petite intensité (4 à 3 ampères) convenant parfaitement pour l'éclairage des étalages, terrasses, etc. Le nombre et la hauteur des foyers peuvent se déterminer d'après les considérations précédentes. Avec des lampes de 10 à 12 ampères, on compte pour :

Tissages, filatures, imprimeries, 1 foyer de 6 à 8 ampères par 100 mètres carrés, soit 4 à 8 bougies par mètre carré ;

Ateliers d'ajustage, de montage, 1 foyer par 500 mètres carrés, soit 0,8 à 1,60 bougie par mètre carré de plancher ;

Halles à marchandises, 1 foyer par 1.000 mètres carrés, soit 0,4 à 0,8 bougie par mètre carré de plancher.

Herzog et Feldmann donnent avec les mêmes foyers une surface double ; on pourra prendre des valeurs intermédiaires. Le mieux est de se reporter à des installations déjà existantes.

250. Absorption de la lumière. — Dans le calcul de l'éclairement d'une salle, il est bon d'observer que les murs et les tentures ne renvoient qu'une partie de la lumière. Si on représente par L la somme des intensités moyennes sphériques, par α le coefficient d'absorption des parois, la première réflexion donnera une quantité de lumière égale à $L(1-\varphi)$, la seconde à $L(1-\varphi)^2$, et la n^{me} à $L(1-\varphi)^n$. La quantité de lumière totale réfléchie sera donc égale à la somme des termes de cette progression, c'est-à-dire à $\frac{L(1-\varphi)}{\varphi}$.

Pour φ voisin de 1, c'est-à-dire avec des tentures sombres, la quantité de lumière diffusée est presque nulle; pour $\varphi = 0,20$, elle équivaut à quatre fois la lumière émise directement.

Le tableau suivant donne le pouvoir absorbant de quelques surfaces.

Surfaces métalliques, miroirs	0,1 à 0.2
Bois peint en blanc et verni	0.2
Papier buvard blanc	0,2
Papiers peints clairs	0.4 à 0.6
Murs peints en jaune	0.60
Murs peints en jaune foncé	0.70
Papier bleu	0.75
Teintes noires	0,85
Velours noir	0,95

Il convient d'ajouter que le pouvoir absorbant ajouté au pouvoir réflecteur doit donner une quantité se rapprochant de l'unité.

251. Éclairage des théâtres. — L'éclairage des théâtres est assuré rarement par le gaz, ce système offrant de graves inconvénients en raison des dangers d'explosion et de la viciation de l'air de la salle qu'il occasionne.

Si on considère qu'un brûleur à gaz, consommant 120 litr à l'heure, transforme en acide carbonique une quanti d'oxygène qui suffirait à la respiration de quatre personnes et que, dans une salle bien éclairée, il faut compter envir un bec par place d'auditeur, on conçoit avec quelle rapidi

peut s'altérer l'air des salles de spectacle éclairées par le gaz ; aussi doit-on toujours combattre la viciation de l'air par une ventilation énergique des locaux intéressés.

A Paris, l'ancien théâtre Beaumarchais était doté d'une installation d'éclairage au gaz assez convenablement étudiée : un lustre central composé de 25 lampes à récupération et 50 papillons, placé sous le plafond, donnait un foyer lumineux de 1.900 bougies pour un volume de salle de 1.800 mètres cubes. Ce lustre était d'ailleurs disposé en vue d'assurer la ventilation de la salle par l'intermédiaire d'une cheminée d'aération placée directement au-dessus de lui (*fig.* 288).

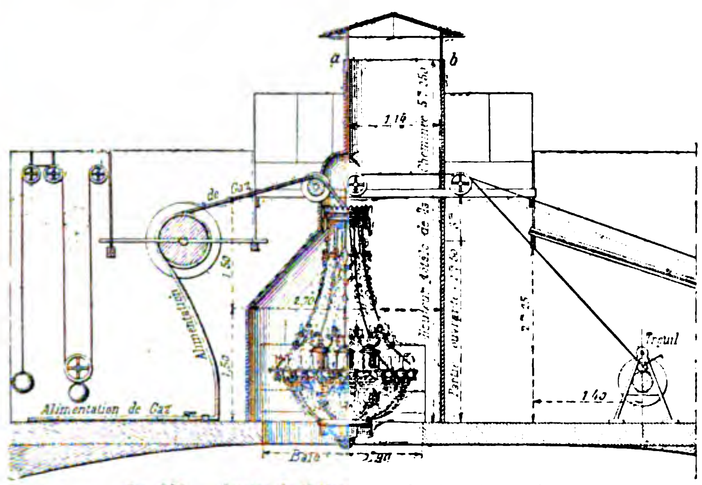


Fig. 288. — Lustre de théâtre avec cheminée de ventilation.

Depuis quelques années, l'emploi de l'électricité pour l'éclairage des théâtres est devenu presque général; les avantages de ce mode d'éclairage sont particulièrement intéressants dans une salle de spectacle : absence de fumée nuisible à la conservation des peintures ; pas de viciation de l'air, ni dégagement excessif de chaleur.

Au point de vue des dangers d'incendie, l'éclairage électrique possède d'ailleurs une plus grande sécurité que l'éclai-

rage au gaz, *mais à la condition que l'installation en soit réalisée avec le plus grand soin.*

Valeur de l'éclairement à assurer. — Lorsqu'il s'agit d'une salle de quelque importance, comme c'est toujours le cas pour un théâtre, les nécessités architecturales imposent, le plus souvent, l'emplacement des foyers lumineux. Observons que cette sujétion a généralement pour conséquence de nuire à l'uniformité de l'éclairement; quoi qu'il en soit, on détermine l'importance et le nombre des foyers en vue de la réalisation d'un minimum d'éclairement.

La valeur à assurer à l'éclairement d'une salle de spectacle est d'ailleurs extrêmement variable suivant son affectation.

C'est ainsi que, sur la scène du Châtelet, de Paris, elle dépasse souvent 60 lux pour certaines féeries.

Dans la salle du théâtre Sarah-Bernhardt, on compte un éclairement variant de 25 à 30 lux.

A l'Odéon de Munich, l'éclairement de la salle varie de 19 à $7^{lux},6$; dans la galerie, il ne descend pas au-dessous de 8 lux.

Pratiquement, on n'envisage pas la valeur exacte de l'éclairement proprement dit; on admet, pour simplifier, un coefficient d'installation de tant de bougies par mètre cube ou par mètre superficiel à éclairer; ce coefficient est d'ailleurs extrêmement variable suivant les auteurs : M. Leblanc, dans sa communication au Congrès international de l'art théâtral en 1900, a indiqué que, pour l'installation d'éclairage d'un théâtre, il convient de prendre 0,75 bougie par mètre cube pour la scène, ou mieux, 45 bougies par mètre carré; il a fourni d'ailleurs un tableau des caractéristiques principales d'éclairement de divers théâtres, que nous reproduisons ci-contre :

INDICATION DES ÉTABLISSEMENTS	FOYER		SALLE		SCÈNE		COULOIRS (Service)		COULOIRS (Salle)	
	NOMBRE DE BOUGIES PAR UNITÉ		NOMBRE DE BOUGIES PAR UNITÉ		NOMBRE DE BOUGIES PAR UNITÉ		NOMBRE DE BOUGIES PAR UNITÉ		NOMBRE DE BOUGIES PAR UNITÉ	
	de surface	de volume	de surface	de volume	de surface	de volume	de surface	de volume	de surface	de volume
Opéra — Eclairage ordinaire...	11,3	0,94	13,4	0,67	53,4	3,34	0,28	0,06	0,88	0,30
Opéra — Eclairᵍᵉ des premières.	»	»	26,1	1,3	»	»	»	»	»	»
Opéra — Grand escalier.......	13,3	0,53	»	»	»	»	»	»	»	»
Comédie-Française............	»	»	9,2	0,61	63,3	7,9	»	»	»	»
Odéon — Sans les girandoles..	»	»	12,5	0,76	44,4	4,27	»	»	»	»
Odéon — Avec girandoles......	»	»	15,6	0,94	»	»	»	»	»	»
Vaudeville	»	»	10,4	0,69	73,8	10,5	»	»	»	»
Nouveautés...................	»	»	18,2	1,52	26,5	3,12	»	»	4,3	1,26
Palais-Royal — Sans girandoles	»	»	12,2	1,22	33,1	3,67	»	»	»	»
Palais-Royal — Avec girandoles	»	»	17,74	1,77	»	»	»	»	»	»
Palais de l'Elysée — Salle des fêtes...	»	»	18	1,4	»	»	»	»	»	»
Palais de l'Elysée — Jardin d'hiver...	»	»	15,2	2,2	»	»	»	»	»	»
Moulin-Rouge (Salle de bal) — Eclairage ordinaire.....	»	»	8,9	1,4	»	»	»	»	»	»
Moulin-Rouge (Salle de bal) — Eclairage des fêtes........	»	»	13,7	2,3	»	»	»	»	»	»
Moulin-Rouge (Salle de bal) — Péristyle.....	5,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Influence de la couleur. — Ces derniers coefficients évidemment sont intéressants, car ils fournissent à l'ingénieur la puissance instantanée d'éclairage dont il convient d'étudier la répartition au mieux de l'uniformité d'éclairement. Mais on ne saurait les interpréter sans s'inspirer au préalable de certaines considérations d'ordre physique et physiologique.

On sait qu'il devient difficile de distinguer les valeurs de couleurs de sources lumineuses de teintes différentes. Il suffit pour s'en convaincre de regarder une étoffe jaune successivement avec la lumière violette d'un arc, avec la lumière verte d'un ancien manchon Auer, la lumière jaunâtre d'un bec de gaz ou la lumière rougeâtre d'une lampe à huile. La quantité de lumière réfléchie par l'objet éclairé dépendra, à la fois, de sa surface et de la couleur de la lumière, une surface donnée réfléchissant une teinte lumineuse mieux qu'une autre.

La surface est jaune parce qu'elle absorbe toutes les radiations, sauf les radiations jaunes ou celles qu'elle transforme en radiations d'une longueur d'onde égale ; il est donc inutile de l'éclairer avec une lumière violette. Une salle de théâtre, tapissée de couleurs de haute fréquence, devra donc être éclairée, autant que possible, par une lumière dont la teinte est du même ordre de fréquence; son éclairage sera, dès lors, harmonieux et semblera émaner des tentures mêmes. On voit ainsi que le sentiment et le bon goût doivent présider à la combinaison mutuelle des sources de lumière et de la nature des surfaces à éclairer.

Donc à la question : quelle est la meilleure teinte de lumière? la réponse doit être : quel est le caractère des surfaces à éclairer? et non pas seulement quels sont les surfaces et le volume correspondants comme on le fait le plus souvent.

C'est seulement après qu'intervient la question de l'espace à éclairer : c'est sa valeur qui détermine, en tenant compte des besoins particuliers de chaque localité et du pouvoir réfléchissant des parois, le nombre, l'intensité et la répartition des foyers lumineux.

Importance de l'éclairement à réserver aux diverses parties d'un théâtre. — Examinons maintenant le degré d'éclairement à assurer aux diverses parties d'un théâtre.

Les *vestibules d'entrée*, les *escaliers* et *couloirs de la salle* doivent être pourvus d'un éclairage assez doux, de manière à ce que le spectateur ne soit pas ébloui avant de pénétrer dans la salle.

Ces conditions sont aisément réalisées par l'électricité au moyen de *plafonniers* plus ou moins artistiques qui peuvent être garnis de lampes d'intensité déterminée ; mais, malheureusement, dans tous les théâtres dont la construction remonte à plus de dix ans, et c'est évidemment le plus grand nombre, on s'est trouvé, au moment de l'installation de l'éclairage électrique, en présence d'une installation à gaz comportant bras, appliques, lustres, que l'on a cherché à utiliser et auxquels on s'est généralement contenté d'adapter des lampes à incandescence.

Cette solution est souvent défectueuse tant au point de vue de l'éclairement que des facilités de dégagement : il serait donc intéressant de voir disparaître, des couloirs étroits de bon nombre de théâtres, certains appareils placés en appliques le long des murs, car ils constituent un véritable obstacle à la circulation des auditeurs.

L'*éclairage des foyers du public* demande au contraire à être très brillant : car il importe de mettre en valeur la décoration des locaux et les toilettes des spectatrices. Cette condition est généralement réalisée par des lustres dotés d'un important luminaire et complétés par des cristaux destinés à produire spécialement l'effet d'illumination. Dans certains théâtres nouvellement édifiés, on trouve des lustres très intéressants à ce point de vue.

Dans les *loges d'artistes*, l'éclairage doit permettre à l'acteur de se grimer et de se voir dans la glace éclairé de la même façon qu'il le sera devant le public ; à cet effet on emploiera avec avantage des lampes à mouvement de genouillères encadrant la figure et munies de réflecteurs disposés de telle façon que la lampe elle-même ne soit pas reflétée dans la glace.

Quant aux bureaux d'administration du théâtre, leur éclai-

rage ne présente rien de particulier par rapport à des bureaux ordinaires.

Éclairage de la salle. — L'intérieur d'une salle de théâtre doit, pendant les entr'actes, être éclairé d'une façon brillante et gaie ; pendant le jeu, cet éclairage doit, au contraire, être discret afin de ne pas atténuer celui de la scène, où se porte l'attention du public ; en aucun cas, d'ailleurs, l'œil du spectateur ne doit être influencé par l'éclat des foyers situés dans le champ visuel correspondant à la scène.

Le gaz a rarement permis de réaliser ce programme : si l'on emploie des lustres, il est nécessaire qu'ils se trouvent placés à une distance suffisante au-dessous du plafond pour éviter l'échauffement, mais alors ils gênent les spectateurs des galeries supérieures; il en est de même pour les girandoles ou appliques.

La solution d'éclairage par plafonds lumineux que l'on avait cherché à réaliser à Paris, en particulier dans les théâtres du Châtelet et des Nations, n'a pas donné non plus de bons résultats : outre que l'éclairage de la salle était insuffisant, il se dégageait une impression désagréable due à l'absence de cette sensation d'illumination que ne peuvent évidemment donner des foyers dissimulés à la vue du public.

Avec l'emploi de l'électricité, le problème de l'éclairage de la salle est plus facile à résoudre. C'est ainsi qu'il est possible d'employer des lustres, car rien n'empêche d'appliquer ceux-ci au plafond ; ils ne gênent ainsi la vue d'aucun spectateur. Les formes à donner à ces appareils peuvent varier à l'infini ; celle qui se recommande particulièrement est celle tronconique (lustre culot), dont des applications assez heureuses ont été faites dans maints théâtres de Paris.

Nous reconnaissons cependant que la question du maintien ou de la suppression des lustres dans la salle est ass--controversée.

L'emploi de grands lustres suspendus au-dessus de l tête des spectateurs, avec tous leurs cristaux et accessoire de décoration, est un danger permanent.

Le grand lustre dans une salle est aussi un inconvénier

pour les galeries hautes, et il semble que, pour les salles nouvelles, on aurait tout avantage à supprimer ces gros appareils dont la manœuvre effraye le personnel des théâtres, ce qui explique peut-être l'état de malpropreté dans lequel ils se trouvent le plus souvent.

Il est beaucoup plus rationnel d'adopter, pour l'éclairage de la salle, des couronnes ou guirlandes de lampes à incandescence appliquées au plafond, ainsi qu'il a été fait d'ailleurs avec quelque succès dans la salle nouvelle du Châtelet.

Éclairage de la scène. — Cet éclairage doit répondre à un grand nombre de besoins : l'acteur doit, sans être ébloui, être éclairé d'une façon assez intense pour que le spectateur puisse suivre ses jeux de physionomie ; le décor, à son tour, doit pouvoir être éclairé en recevant de la lumière de toutes les directions. Il convient enfin que l'éclairage puisse être donné en plusieurs couleurs pour réaliser les divers effets exigés par la mise en scène : lever ou coucher du soleil, clair de lune, etc.

Les appareils d'éclairage actuellement employés sont :

1° Les *herses* envoyant la lumière de la partie haute de la scène ;

2° La *rampe* d'avant-scène ;

3° Les *portants* éclairant les côtés;

4° Les *trainées* éclairant les parties basses;

5° Les *projecteurs ;*

6° Les *accessoires divers.*

Les herses sont disposées à raison de une par plan de la scène ; dans le sens vertical, elles peuvent être déplacées suivant les besoins ; dans le sens horizontal, leur position est fixe. Elles doivent comporter un réflecteur dont la courbe doit être étudiée convenablement ; mais une difficulté se présente dès que ces herses doivent donner des éclairages de couleurs variées. Il y a à craindre, en effet, que les lampes de couleur, lorsqu'elles ne sont pas allumées, ne forment autant d'écrans interceptant les rayons lumineux des lampes blanches ; c'est ce qui arrive fatalement si toutes les lampes. blanches et de couleur, sont disposées

côte à côte dans le même réflecteur. On a cherché à éviter cet inconvénient en séparant les lampes par des cloisons; mais ces cloisons contrarient la diffusion de la lumière et produisent une sorte de quadrillage ombré sur les rideaux.

On construit également des herses à plusieurs effets qui ont été appliquées dans plusieurs théâtres parisiens ; celles-ci comportent deux réflecteurs : l'un pour les lampes blanches, l'autre pour les lampes de couleur ; le résultat ainsi obtenu est satisfaisant, ainsi qu'on peut le constater par exemple à l'Opéra-Comique, au Châtelet, à la Gaîté, au théâtre Sarah-Bernhardt, etc.

Les herses devant comporter plusieurs colorations de feu, il en résulte une complication dans l'alimentation qui entraîne la multiplicité des connexions.

Dans les théâtres parisiens dont elle assure le service d'éclairage, la Compagnie Edison alimente les lampes des herses au moyen de barres maintenues dans des rainures pratiquées dans le socle servant de support à l'appareil.

Chaque barre dessert un circuit de couleur ; le support de la lampe est constitué par une douille en laiton fileté qui est fixée à l'une ou l'autre des barres et représente un des pôles.

Le courant est pris, d'autre part, par le culot de la lampe, qui touche par le fond à une autre barre faisant pôle commun pour tous les allumages.

En dehors de son rendement lumineux, une herse doit satisfaire à d'autres qualités : elle doit être peu volumineuse, afin de ne pas trop encombrer le cintre ; elle doit être légère, pour que sa manœuvre soit aisée ; robuste, pour résister aux chocs auxquels elle est exposée ; enfin elle doit être rigide, pour éviter un trop grand nombre de points d'attache.

Les cordes de suspension doivent être disposées de t sorte qu'aucune traction ne puisse s'exercer sur les c ducteurs électriques.

Rampe d'avant-scène. — La rampe d'avant-scène est posée à l'aplomb du mur de proscenium, dont elle suit

courbe. Elle est destinée à éclairer les acteurs et la partie basse des premiers plans.

Son réflecteur doit être disposé de telle façon qu'il éclaire bien l'acteur, lors même que celui-ci se trouverait légèrement éloigné de la rampe ; il faut surtout qu'il cache absolument les lampes à l'œil des spectateurs ; la hauteur du réflecteur doit donc être la plus réduite possible ; comme pour les herses, il importe d'éviter le mélange, sur un même plan, de lampes de couleurs différentes.

A l'Opéra de Paris, la Compagnie Edison a constitué une rampe où les lampes sont disposées debout sur un socle en bois formant un certain angle avec le plancher de scène.

Les lampes, en trois couleurs, sont placées sur les angles d'un triangle équilatéral, la rampe suit la courbe faite par l'avant-scène, ce qui a été convenablement obtenu en constituant d'abord un cadre en fer en V, cintré à la demande ; ce cadre reçoit alors des lames de bois qui forment le socle de la rampe.

Mais, quoi qu'il en soit, dans les théâtres où le proscenium a une saillie importante, et c'est le cas le plus fréquent, dès que l'acteur vient se placer en avant du cadre d'avant-scène, il est mal éclairé ; en effet, la tendance actuelle, qui est d'ailleurs très rationnelle, à notre avis, consiste, dès que le rideau est levé, à mettre la salle dans une obscurité relative afin de mettre la scène en valeur ; dans ces conditions, l'acteur est éclairé exclusivement par la rampe, qui produit, sur son visage, des effets de clair-obscur très désagréables ; il est dès lors indispensable, pour qu'il soit convenablement éclairé, qu'il reste toujours en arrière du cadre de scène ; cette raison est, entre autres, une de celles militant en faveur de la suppression du proscenium.

Nous signalerons une disposition heureuse réalisée récemment au théâtre Sarah-Bernhardt pour l'installation de la rampe. Au lieu de placer celle-ci directement sur le plancher de scène, on l'a descendue au-dessous de ce point d'environ 20 centimètres, et l'on a arrêté le plancher à $0^m,80$ environ en avant de la rampe ; le point bas de la rampe et le plancher ont été raccordés par un plan incliné. Le résultat obtenu par cette disposition est double : d'une part, l'œil

du spectateur n'est pas gêné par le dossier de la rampe; d'autre part, l'acteur est naturellement porté à se maintenir en arrière du plan incliné, c'est-à-dire à une distance convenable de la rampe pour être bien éclairé.

Pour compléter l'éclairage du premier plan, on a souvent cherché à fixer des lampes sur la face interne du cadre de scène; mais cette installation, qui pourrait donner d'excellents résultats, est la plupart du temps rendue impossible par la construction elle-même et, en général, par le rideau de fer. Il serait à désirer que l'on réservât désormais, dans l'épaisseur du mur, un logement pour ces lampes complémentaires.

Les *portants* sont destinés à éclairer les côtés de la scène: ils peuvent se placer en un point quelconque et se fixer le long des décors ou des mâts; les lampes sont disposées les unes au-dessus des autres. Ces appareils peuvent être utilisés pour éclairer horizontalement les parties basses des décors : ils prennent alors le nom de *traînées.*

Les prises de courant des portants avec des câbles souples qui y aboutissent, devant disparaître dans les dessous, leurs dimensions doivent donc être aussi réduites que possible.

A l'Opéra, elles sont faites de trois contacts disposés à la périphérie d'un bloc et d'un contact commun au centre.

A l'Opéra-Comique, elles sont formées par trois tubes concentriques disposés en retrait.

Les *réflecteurs* sont des portants dont les lampes sont disposées les unes à côté des autres pour éclairer horizontalement.

Les *projecteurs* sont destinés aux effets spéciaux de clair de lune, éclairage intensif de points déterminés, éclairage de ballets, etc. ; ils utilisent la lumière produite par l'arc voltaïque.

Dans un grand nombre de cas, on se contente de produi à la main le rapprochement des charbons entre lesqu jaillit l'arc; mais ce système, qui est très simple, demand pour être exempt de dangers, à être mis entre des mai exercées.

On réalise, depuis quelque temps, des projecteurs avec

gulateur automatique comportant, à l'intérieur d'un coffre, tous les organes nécessaires au fonctionnement; la conduite de ces appareils est dès lors très simple et à l'abri des dangers d'incendie.

Le service des projections est généralement fait soit à la hauteur du 1er service, soit au niveau de la scène, à chaque plan du théâtre.

Les rhéostats de réglage des lampes doivent être groupés pour en faciliter la surveillance; ils doivent en outre être placés dans les conditions d'isolement d'aération que l'on doit prendre pour des appareils dont la température en condition de marche est souvent élevée.

Jeux d'orgue. — L'électricité se prête éminemment à la production d'effets de scène et surtout d'effets basés sur des allumages ou extinctions brusques ou progressives d'un grand nombre de lampes; c'est grâce à cette facilité d'emploi que l'on a pris l'habitude, dans un grand nombre de théâtres, de faire des changements de décors sans baisser le rideau, en éteignant complètement et d'un coup toutes les lampes de la salle et de la scène : pour obtenir un résultat plus complet, et empêcher le spectateur de se rendre compte de ce qui se passe sur la scène, on l'éblouit momentanément au moyen de quelques lampes munies de réflecteurs qui s'allument en même temps que les autres s'éteignent.

Pour obtenir des variations progressives de l'intensité lumineuse, on a été conduit à l'emploi de résistances passives qui, si l'on veut faire baisser la lumière, s'intercalent sur le circuit des lampes correspondantes, diminuant l'intensité du courant et par suite l'intensité des lampes; le système généralement employé jusqu'ici pour introduire progressivement ces résistances en circuit ou les en retirer, consiste à les diviser en un certain nombre de fractions dont les extrémités sont reliées à des touches de commutateurs spéciaux; mais, comme il existe toujours une différence de potentiel entre deux touches voisines du commutateur, quel que soit le nombre de ces touches, il s'ensuit qu'à chaque passage d'une touche à l'autre la force électromotrice aux bornes des lampes

varie d'une façon sensible, et par suite l'intensité lumineuse est soumise à des variations saccadées. On a donc cherché à réaliser la suppression absolue de ces saccades ; il faut reconnaître que le problème est maintenant résolu par certains modèles de jeu d'orgue, tels celui que MM. Mornat et Langlois ont réalisé pour l'Opéra et ceux construits par la Compagnie d'éclairage et de force à destination du Châtelet, de la Gaîté, de l'Opéra-Comique, du théâtre Sarah-Bernhardt, etc., etc.

Dans le jeu d'orgue de l'Opéra, les trois couleurs bleue, blanche et rouge sont très distinctement séparées en trois tableaux doubles se faisant vis-à-vis, composés :

1° Du tableau de manœuvre des rhéostats ;

2° Du tableau des circuits.

Les rhéostats sont disposés en dessous de ces tableaux. Ils sont formés en fil de maillechort; mais l'originalité consiste en ce que les connexions multiples faites sur les fils du rhéostat sont réduites au minimum, parce que le rhéostat est relié de suite à un bloc formé de lames isolées, dans le genre d'un collecteur ; ce bloc fait corps avec le rhéostat.

Le courant est pris à différents points au moyen d'un frotteur qui, par un système de renvois, est commandé du tableau même situé à l'étage supérieur. Une règle divisée permet à l'électricien de prendre des repères et de connaître, à tout instant, la position des frotteurs ; des lampes témoins lui permettent d'apprécier les effets obtenus.

Ce jeu d'orgue peut être actionné à la main ou embrayé sur un moteur électrique ; cette ressource est évidemment une garantie, car le fonctionnement n'est pas à la merci d'un mauvais contact ou d'un fil coupé dans les connexions du moteur, et puis on peut toujours ainsi, pour le réglage de la lumière, ramener immédiatement au point voulu le rhéostat et modifier de suite un effet.

Quant aux tableaux, qui résument les départs de tous [les] circuits, ils comportent tous les appareils de sûreté : cou[pe-] circuits et interrupteurs ; ces derniers sont à double dire[c-] tion ; la première direction met ces appareils en comm[u-] nication avec les rhéostats ; l'autre relie directement l[es] circuits.

Une seconde combinaison permet d'isoler ou de rendre solidaires un ensemble de circuits, au moyen de la manœuvre d'un interrupteur général.

M. Clemançon a fait aussi breveter un système de jeu d'orgue dont des applications heureuses ont été successivement réalisées dans divers théâtres parisiens : Opéra-Comique, Comédie-Française, Châtelet, Sarah-Bernhardt, etc., ainsi qu'au Maréorama à l'Exposition universelle de 1900.

Le fil constituant la résistance (en général du ferro-nickel) est appliqué sur un tambour circulaire et cylindrique, en suivant à la surface de ce tambour le profil d'une vis à filets triangulaires. Ce tambour plonge d'une quantité très faible dans une nappe de mercure contenu dans une auge, de sorte que, si l'on anime le tambour d'un mouvement de rotation autour de son axe, les différents points du fil viennent plonger successivement dans le mercure.

En prenant l'auge comme contact mobile le long du rhéostat, on voit qu'on pourra intercaler ce rhéostat dans le circuit d'une façon progressive et, conséquemment, obtenir une variation de lumière aussi bien graduée que possible.

Si donc on dispose, sur chaque groupe de lampes fonctionnant toujours au même régime, un rhéostat de ce genre et qu'on munisse chacun d'eux d'un appareil de manœuvre, on constitue un jeu d'orgue répondant aux divers besoins de la mise en scène.

Ceci posé, après avoir déterminé le nombre de lampes à soumettre aux jeux d'intensité, il s'agit de les grouper par circuits tels que chacun d'eux devra être, au point de vue des effets, indépendant des autres, et, par suite, comporter un rhéostat et son appareil de commande ou manipulateur. Le nombre des circuits sera d'ailleurs d'autant plus grand que le théâtre demandera une mise en scène plus compliquée. Par exemple, on obtiendra une subdivision suffisante en répartissant les lampes de chaque herse sur 4 circuits ; les lampes de la rampe sur 8, dont 4 pour chaque côté ; les lampes des portants sur 18 ou 20 circuits, et ainsi de suite.

Régime d'utilisation des lampes et répartition des circuits d'alimentation. — Quiconque s'est occupé d'éclairage public

ou de l'éclairage des locaux importants sait combien il est indispensable d'adapter strictement le régime d'utilisation des appareils aux besoins des locaux qu'ils desservent : le gaz se prêtait mal à la réalisation d'un régime normal d'utilisation, à cause des sujétions qu'entraînaient l'allumage et l'extinction des brûleurs. Avec l'emploi de l'énergie électrique, le problème est singulièrement simplifié, moyennant une étude raisonnée des circuits d'alimentation.

Il importe donc que l'ingénieur chargé de l'étude d'éclairage d'un théâtre se préoccupe de grouper les lampes projetées suivant des circuits ne comportant que des lampes soumises au même régime d'utilisation. A ce point de vue, il est le plus souvent légitime de répartir l'ensemble des lampes d'un théâtre en trois catégories.

La première comprendra les lampes dont l'intensité lumineuse doit varier en raison des effets scéniques à réaliser. Cet éclairage comprend d'abord les lampes de la scène, c'est-à-dire la rampe, les herses, portants, trainées; elle comporte en outre un certain nombre de lampes réparties dans la salle, où elles participent à l'éclairage général tout en modifiant leur éclat suivant les besoins.

Concourant aux mêmes effets, ces lampes doivent par conséquent être commandées d'un même point. Tous les appareils nécessaires sont donc rattachés à un tableau unique ou jeu d'orgue affecté à la réalisation des effets lumineux.

La deuxième catégorie comprend les lampes dont l'intensité lumineuse sera constante : lampes de vestibules, de couloirs, les lampes dites de service de la salle et de la scène; celles de l'administration, des loges d'artistes et de la façade : elles seront alimentées par des canalisations partant directement du tableau général de distribution.

Les divers circuits constituant la deuxième catégorie peuvent en général être distingués ainsi :

Circuit (*A*). — Lampes devant rester en service avant après le spectacle et pendant la clôture (concierge, servi d'administration).

Circuit (*B*). — Loges d'artistes.

Circuit (*C*). — Dit de service (salle et loges), le circuit co

prend les lampes dans les couloirs et escaliers des bâtiments, les loges, les magasins de costumes, d'accessoires, le foyer des artistes; dans la salle, il comprend quelques lampes pour le balayage, de même il peut alimenter quelques lampes sur les lustres du grand foyer pour que, pendant la pièce, on puisse du jeu d'orgue éteindre le circuit du foyer, tout en lui laissant un peu d'éclairage.

Circuit (*D*).— Dit de service de scène, alimentant les lampes destinées au service de la scène et de ses dépendances.

Circuit (*E*). — Desservant les lampes affectées à l'éclairage des couloirs, escaliers, et complétant l'éclairage en partie assuré par le circuit de service. Les lampes de ce groupe peuvent ainsi n'être allumées qu'au dernier moment, un quart d'heure avant l'arrivée du public.

Circuit (*F*). — Desservant les vestibules et les bureaux de location.

Enfin, la troisième catégorie comprend les lampes devant assurer l'éclairage de secours; il convient que celles-ci soient desservies par une source d'électricité indépendante de celle assurant le fonctionnement des lampes de première et de deuxième catégories.

La répartition des lampes de secours doit être étudiée avec le plus grand soin, pour toutes les parties du théâtre, salle, scène, service, dessous et dépendances, en vue de canaliser convenablement et rapidement la sortie du public en cas de sinistre.

Les deux circuits ne devraient présenter aucune coupure en cours de route; la canalisation et l'appareillage correspondant doit être facilement reconnaissable au moyen de signes distinctifs bien apparents (inscriptions ou lampes de couleur).

La classification de l'éclairage du théâtre étant ainsi fixée, examinons successivement :

1° L'alimentation de l'installation;

2° La disposition des circuits;

3° La canalisation et le matériel.

Alimentation de l'installation. — Le mode le plus pratique est évidemment d'emprunter l'énergie électrique à une station

centrale. On évite ainsi le souci de l'exploitation d'une usine spéciale, les risques d'incendie qui peuvent en résulter et l'encombrement des locaux du théâtre, qui n'ont généralement pas été combinés pour cet objet.

Le genre de distribution de l'énergie employé par la station centrale mérite une attention particulière dans le cas de l'éclairage d'un théâtre. Les distributions à cinq fils ne conviennent généralement pas très bien, l'obligation d'équilibrer la charge des quatre ponts ne pouvant guère s'accommoder des nécessités de la mise en scène; cette observation est particulièrement justifiée pour les théâtres de féeries, où le régime d'utilisation de l'éclairage de scène est soumis à des variations d'une amplitude et d'une fréquence extrêmes, occasionnant des dépenses de débit considérables, qui se traduisent par des perturbations très marquées chez les divers abonnés du secteur. Le déséquilibrage des intensités desservies par les divers circuits offre, d'ailleurs, certains dangers : les câbles de distribution sont amenés à travailler très inégalement, et certains d'entre eux, parcourus par un courant dont la densité dépasse la normale, peuvent être portés à une température dangereuse.

Sans doute il est possible, par l'application de certains dispositifs (résistances de remplacement, de moteurs compensateurs), de rendre la distribution générale d'un secteur à peu près indépendante des modifications du régime d'installation de lampes de ses abonnés; mais la réalisation de ces solutions se traduit toujours par des dépenses dont il convient de tenir compte. La distribution à deux ou trois fils paraît donc devoir être spécialement recommandée.

Le courant est généralement amené par le secteur à l'intérieur du théâtre, soit dans un poste de transformation, soit simplement à une grille. A partir de ce point, il est conduit au tableau principal de distribution, puis, dans l'hypothèse d'une répartition des circuits conforme aux indications précédentes, une partie de l'énergie est affectée à l'alimentatio des divers circuits de l'éclairage de deuxième catégori l'autre partie est dirigée, par un branchement secondair sur le jeu d'orgue.

L'alimentation des lampes de secours est d'ailleurs ass

rée par un branchement spécial rattaché au tableau de secours indépendant du tableau général. Deux circuits distincts doivent desservir les lampes de secours. Ces circuits sont disposés de telle sorte que, pour chaque étage, les lampes de sûreté voisines l'une de l'autre ne soient pas alimentées par ce même circuit.

Emplacement des tableaux de distribution. — L'emplacement du tableau général peut être quelconque, sous réserve que l'accès en sera facile; dans la plupart des théâtres, il est situé dans les premier et deuxième dessous.

Celui du tableau de secours doit être dans un local réservé, séparé de celui affecté au tableau général et d'un accès particulièrement commode. Enfin l'emplacement du jeu d'orgue, c'est-à-dire du panneau comportant l'ensemble des manipulateurs et des appareils accessoires, est le plus souvent sur la scène même, au niveau du plancher, contre le mur de scène et contre le cadre. Cette situation permet à l'électricien de coordonner facilement les manœuvres de l'appareil avec les divers jeux de la scène et, suivant l'axe de celle-ci, une logette semblable au trou du souffleur permet à l'électricien de suivre le jeu. Il nous semble que cette disposition présente certains inconvénients résultant de ce qu'il ne voit pas ce qui se passe sur la scène tant que le rideau n'est pas levé.

Disposition des circuits de canalisation. — La disposition à donner aux circuits doit, autant que possible, être symétrique; cette condition, qu'il est généralement aisé de réaliser dans un théâtre, facilite singulièrement le service d'entretien et de vérification. Il convient de placer des tableaux de subdivision commandant l'éclairage de chaque étage; ces tableaux, comportant les divers appareils de sûreté et de contrôle, doivent d'ailleurs être placés symétriquement et hors de la portée du public.

Les tableaux de distribution doivent être aménagés de façon à ce que la vérification du débit de chaque circuit puisse être assurée à un moment quelconque; on dispose, à chaque tableau secondaire, des indicateurs d'échauffement

correspondant, par une sonnerie d'alarme, au poste principal.

Canalisation. — Les diverses canalisations seront constituées par des câbles et fils isolés toujours pourvus d'une protection mécanique indépendante de leur enveloppe isolante; généralement elles sont placées dans des moulures en bois goudronnées ou gommelaquées.

La traversée des murs devra comporter un fourreau protecteur ne présentant aucune solution de continuité ; en cas d'utilisation de fourreaux métalliques, les câbles devront être entourés d'un tube en caoutchouc ou toute autre substance isolante. Les dérivations principales alimenteront les différentes lampes par l'intermédiaire de dérivations secondaires protégées par des coupe-circuits. Tous les câbles et fils seront en cuivre étamé d'une conductibilité au moins égale à 90 0/0 de celle du cuivre pur. Leur section sera toujours déterminée par la condition de la perte de charge du tableau général de distribution à la lampe la plus éloiguée, qui ne doit pas excéder 2 volts.

Il est bon, en outre, d'exiger que cette section soit suffisante pour que le passage d'un courant accidentel, deux fois plus dense que le courant normal, ne puisse déterminer un échauffement supérieur à 40°.

On n'emploiera aucun conducteur dont l'âme serait formée d'un fil unique d'un diamètre inférieur à 9/10 de millimètre. En général, on peut espérer qu'un isolement satisfaisant des conducteurs sera fourni par l'application, autour de la lame métallique, d'une couche de caoutchouc vulcanisé et de deux rubans de caoutchouc.

Il y a lieu surtout d'apporter la plus grande attention aux installations volantes ou provisoires qui sont demandées sur la scène pour production d'effets divers; bien souvent, ces installations doivent être faites très rapidement et, malgr la bonne volonté des ouvriers, si ceux-ci ne sont pas dirigés par un chef prévoyant et expérimenté, des erreurs peuvent être commises qui peuvent avoir de graves conséquences Les conducteurs employés dans les installations mobiles doivent être protégés mécaniquement contre les chocs ; les

câbles souples réunissant les canalisations fixes aux appareils mobiles, herses, portants, traînées, projecteurs, accessoires, doivent être garnis de cuir sur toute leur longueur; on a utilisé pour protéger ces câbles des gaines métalliques souples; mais une protection de ce genre est souvent plus nuisible qu'utile.

Les raccords entre les câbles souples et les appareils doivent être établis de telle façon qu'une simple traction ne soit pas suffisante pour détruire la connexion. Il faut insister tout spécialement sur la nécessité d'assurer le contact parfait des vis ou boutons des coupe-circuits; les vices de contact se traduisent généralement par un échauffement anormal des fils pouvant amener l'inflammation des enveloppes et des parois adjacentes.

252. Éclairage indirect. — L'éclairage des locaux fermés par les rayons lumineux réfléchis par le plafond et les parois de la salle est très recommandable. L'avantage est qu'on n'a pas de lumière crue, l'éclairement obtenu est plus uniforme et ne procure aucune sensation physiologique désagréable; l'absence complète d'ombres portées rend surtout ce système avantageux dans les salles d'études, les salles de dessin. Il y a forcément perte de lumière par suite de l'absorption par les parois, qui n'est jamais nulle, mais qu'on peut réduire en choisissant convenablement leur couleur. A première vue, ce mode d'éclairage paraît insuffisant, mais on ne tarde pas à s'apercevoir que la perception des objets est très nette.

Cet éclairage peut s'obtenir de deux façons : la lumière est complètement diffusée ou en partie seulement. Dans le premier cas, les foyers sont entourés de réflecteurs opaques qui renvoient la lumière vers le plafond. L'intérieur des réflecteurs renversés doit avoir un pouvoir réfléchissant considérable; mais, quel que soit le soin apporté à ce mode d'éclairage, on obtient, si les foyers ne sont pas suffisamment haut, une ligne de démarcation très nette entre la partie supérieure de la salle, brillamment éclairée, et la partie inférieure, plus sombre. Des essais de ce genre d'éclairage, faits avec le gaz à l'Institut d'hygiène de Hall, ont donné les résultats suivants :

	A la partie la plus sombre	A la place la plus éclairée	Différence	Moyenne
Par éclairage direct..	16,58	26,15	9,57	21,33
Par éclairage indirect.	6,74	8,59	1,85	7,54

Soit une perte de 64 0/0 sur l'éclairage direct. Aussi préfère-t-on le deuxième système, qui consiste à remplacer les réflecteurs opaques par d'autres de même forme, mais transparents; avec un réflecteur en papier blanc fort, la perte n'est plus que de 52 0/0 et descend à 35 avec du verre opalin de forme pyramidale. C'est ce qui explique l'avantage des cônes garde-vue. Il faut avoir soin de choisir des substances blanches dont le pouvoir réflecteur est assez élevé.

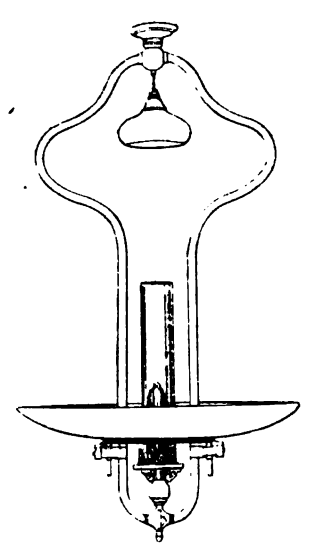


Fig. 289. — Lyre pour éclairage indirect.

On peut, dans certains cas, adopter le dispositif d'éclairage indirect par réflecteur, tel qu'il a été indiqué pour les lampes à arc à charbons renversés. L'arc est complètement dissimulé, mais sa lumière est ensuite déviée par des réflecteurs dans des directions convenables. On obtient à la fois un éclairage intense et suffisamment diffusé.

Depuis quelques années, on réalise d'assez nombreuses applications de l'éclairage indirect au moyen de foyers à incandescence par le gaz auxquels sont adaptés des réflecteurs renversés qui renvoient la lumière au plafond de la salle à éclairer. La figure 289 représente un appareil conçu dans ce but et dont l'emploi est très répandu dans les écoles de la Ville de Paris.

253. Éclairage public au gaz. — Le gaz, pour l'éclairage public, a été pendant longtemps le seul employé. Les becs

papillons de 140 litres ne donnaient qu'un éclairement assez faible. Les becs à récupération, utilisés ensuite, ont apporté une amélioration sensible; mais c'est surtout la substitution du bec Auer aux papillons ordinaires qui a donné les meilleurs résultats (Voir le tableau ci-contre).

On peut réaliser des chiffres plus élevés. C'est ainsi qu'à l'Exposition de 1900, à Paris, on avait sous la Tour Eiffel, au Champ-de-Mars 28 lux, soit une intensité lumineuse totale de 540.000 bougies pour 100.000 mètres carrés, ou 5b,4 par mètre carré; au Trocadéro, l'éclairement était de 26 lux et l'intensité lumineuse totale de 370.000 bougies pour 95.000 mètres carrés, soit 3b,9 par mètre carré. En général, pour un éclairage moyen, il faut compter 0b,25 à 3 bougies par mètre carré, soit 0lux,30 à 5 à 6 lux.

BRULEURS	HAUTEUR	ESPACEMENT	ÉCLAIREMENT MOYEN	ÉCLAIREMENT MINIMUM
Papillon de 140 litres	3m	Alternés de 25m en 25m dans une rue de 15m.	0lux,12	0lux,017
—	3	4 becs en vis-à-vis, sur une longueur de 15m, dans une avenue de 30m.	0 ,115	0 ,011
Récupérateur de 750 litres..	4 ,50	En quinconce, à 20m les uns des autres......	1 ,29	0 ,3
Auer de 115 litres.........	3 ,50	Alternés de 25m en 25m dans une rue de 15m...	0 ,36	0 ,07

254. Éclairage public par lampes à incandescence. — Ce mode d'éclairage, à l'extérieur, ne convient guère que dans quelques cas spéciaux, en particulier lorsqu'il s'agit de localités de peu d'importance; on peut l'employer au même titre que les brûleurs à acétylène, les lampes à alcool, à pétrole, etc. Les essais faits dans les villes, en particulier à Paris, rue des Halles, en 1890, n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Les lampes étant alors espacées à des distances considérables, l'éclairement obtenu est insuffisant. Si on multiplie le nombre de ces foyers, l'énergie absorbée devient très importante, il vaut mieux recourir alors aux lampes à arc de faible intensité.

L'éclairage extérieur par l'incandescence électrique s'emploie particulièrement pour les passages couverts, portiques, etc., où la faible hauteur ne permet pas d'employer l'arc. Les lampes sont placées assez haut, on les munit de réflecteurs. On peut même, dans ce cas, se servir de globes diffuseurs permettant de renvoyer la lumière dans la direction la plus favorable.

255. Éclairage extérieur par arc voltaïque. — L'arc voltaïque convient plus particulièrement pour l'éclairage des grands espaces. En employant des arcs nus, on recueille le maximum possible de lumière, mais les ombres portées sont trop crues, aussi est-on obligé de recourir à l'emploi de globes diffusant la lumière, quoiqu'une partie soit absorbée.

Les foyers les plus répandus sont ceux de 10 à 12 ampères placés à la hauteur de $4^{m},45$ à 6 mètres. L'éclairement obtenu est très satisfaisant, il suffit de rappeler les résultats des installations de Paris.

ÉCLAIREMENT	AVENUE de CLICHY	BOULEVARDS (Compagnie Edison)		RUE ROYALE	
				1re installation	2e installation
Moyen.......	$2^{lux},19$	$3^{lux},35$	$1^{lux},98$	$3^{lux},40$	$3^{lux},78$
Min. vertical.	0 ,18	0 ,46	0 ,33	0 ,50	0 ,70
Min. horizont.	0 ,16	0 ,46	0 ,24	0 ,43	0 ,60

La hauteur des candélabres de l'avenue de Clichy est d $4^{m},45$; celle des boulevards, de $5^{m},95$; leur espacement, d 50 mètres en moyenne. La rue Royale possède deux instal

lations : dans la première, les candélabres sont disposés en quinconce à une distance de 30 mètres les uns des autres; dans l'autre, ils se font face deux à deux à une distance de 29 mètres en largeur et 39 mètres en longueur. Les foyers dans les deux cas sont à $5^{m},50$ de haut.

Les éclairements obtenus sont beaucoup plus élevés qu'avec le gaz; mais l'emploi de l'électricité dans ces conditions n'est possible qu'avec des rues de grande importance. Pour les petites rues, il faudrait recourir à de faibles intensités, 4 à 5 ampères. Le tableau de la page 610 donne quelques renseignements sur la nature et le mode d'installation des lampes à arc dans les principales villes du monde.

Tous ces chiffres n'ont, du reste, rien d'absolu, et ces installations, qui donnent satisfaction actuellement, pourront, dans un temps assez court, paraître insuffisantes.

En résumé, avec l'éclairage à arc, on peut compter actuellement $0^{lux},35$ à 6 ou 7 lux, soit 0,30 à 4 bougies par mètre carré; les appareils sont placés à des hauteurs variant de 6 à 12 mètres, suivant le cas.

256. Répartition et hauteur des foyers (éclairage public). — Il y a quatre dispositions principales dépendant de l'importance des espaces éclairés :

1° Pour les rues d'une certaine importance, on peut disposer les foyers au milieu de la chaussée (*fig.* 290), surtout si leur intensité lumineuse permet d'obtenir sur les accotements ou trottoirs un éclairement suffisant.

Pour déterminer l'intensité, la hauteur et l'espacement des foyers, on peut se servir de la condition de l'éclairement minimum. Dans le cas particulier, les points n, n' et a, a' étant les plus éloignés des foyers sont ceux dont l'éclairement est le plus faible.

Le point a, considéré comme éclairé par I. seulement, peut servir à déterminer l'intensité du foyer en se donnant la hauteur ou inversement. L'équation de l'éclairement contient ces deux variables et l'une d'elles peut être fixée arbitrairement. Il est préférable d'adopter la hauteur, qui se trouve comprise dans des limites connues. Soit, par exemple, à obtenir en a un éclairement de 1 lux avec des foyers dis-

VILLES		NATURE DU FOYER	INTENSITÉ EN AMPÈRES	LARGEUR DES VOIES	ESPACEMENT DES FOYERS	HAUTEUR DES FOYERS
			ampères	mètres	mètres	mètres
Paris....	Grands boulevards..	Courant continu	10	35	40 à 60	5,95
	Avenue de Clichy...	avec globe opalin	10	25	50	4,45 à 4,75
Bruxelles..................		—	12	25 à 40	70 à 80	12
Toulouse.....................		—	10	14 à 15	50 à 70	7
PerspectiveNewsky(Pétersbourg)		—	11 à 12	50 à 60	40 à 70	10,50
Milan...........................		—	4, 5, 6, 10, 15, 20	8 à 30	10 à 60	9
Berne.........................		—	20	15 à 20	60 à 80	9
Munich..........................		—	5 à 18	15 à 25	50	8 à 10
Hambourg (Jung feerstieg)......		—	8	16	25 à 30	8
Berlin....	Unter den Linden...	—	14 à 15	»	41 à 65	8
	Leipziger Strasse....	—	14 à 15	»	40	5,50
Vienne........................		—	10	»	20	5,70
New-York...	Avenues.........	Courant continu	10 à 11	30	78	6,10
	Rues............	avec globe clair	»	18	90	6,10
Monaco..........................		—	5,5 à 10	12 à 35	40 à 75	5,8 à 10
Metz............................		—	8 à 10	10 à 25	40 à 60	8 à 9
Le Havre........................		Courant alternatif	12	30 à 45	70 à 80	4,50 à 7,50
Zurich (Quai du Lac)...........		avec globe opalin.	18	30 à 40	60	7
Clermont-Ferrand...............		—	12 à 20	»	35	6
Cologne.........................		—	10	7 à 10	45 à 60	7
Naples..........................		—	12	25 à 40	70 à 80	12
Dresde..........................		avec verre clair	16 à 18	12 à 30	35 à 50	8 à 9

tincts; on a d'après les notations précédentes :

$$e = \frac{I_s \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{I_s h}{\sqrt[2]{(h^2 + d^2)^3}}.$$

On pourrait prendre pour h la condition de l'éclairement maximum, c'est-à-dire $h = 0,70d$, mais elle est généralement irréalisable, et il est préférable de fixer h arbitrairement; soit $h = 6$ mètres : dans le cas particulier, on aura alors, pour l'intensité sphérique moyenne, si d égale 15 mètres :

$$I_s = \frac{e \sqrt[2]{(h^2 + d^2)^3}}{h} = \frac{1 \sqrt[2]{(6^2 + 15^2)^3}}{6} = 700 \text{ bougies.}$$

Si on prenait pour h des valeurs plus élevées et en particulier $h = 0,70d = 8^m,50$, I serait plus faible et égal à 600 bougies.

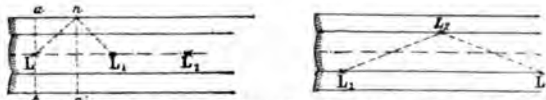


FIG. 290. — Foyers au milieu de la chaussée. FIG. 291. — Foyers alternés.

Quant à l'espacement des foyers, il peut se déterminer au moyen du point n considéré comme également éclairé par les foyers L et L_1. L'éclairement dû à L devra être égal à $0^l,5$, il suffit donc de chercher, sur la courbe d'éclairement, la longueur Ln qui correspond à cet éclairement, ou encore on peut la déterminer par le calcul; on a, en prenant les valeurs précédentes :

$$l^2 = \sqrt[3]{\left(\frac{Ih}{e}\right)^2} - h^2 \text{ ou } \cos^3 \alpha = \frac{h^2 e}{2I}.$$

On trouve $l = 19,50$; la longueur

$$LL_1 = 2\sqrt{\overline{nL_1}^2 - \frac{\overline{nn_1}^2}{4}} = 2\sqrt{\overline{19,5}^2 - \frac{\overline{15}^2}{4}} = 37^m,5.$$

Pratiquement, on ne descend pas au-dessous de 25 mètres; l'installation est alors assez onéreuse. Cette disposition a,

toutefois, l'avantage de permettre de placer les foyers à une hauteur convenable, surtout s'ils sont suspendus.

2° Les foyers sont disposés alternativement d'un trottoir à l'autre (*fig.* 291), formant ainsi une série de triangles isocèles; les points de plus faible éclairement sont sur le milieu des lignes L_1L_3 et L_1L_2. On peut se servir du milieu de L_1L_3 pour déterminer l'intensité du foyer, et de celui de L_1L_2 pour leur espacement. Soit, par exemple, à obtenir l'éclairement au gaz d'une rue de 15 mètres, les candélabres, de 3 mètres de haut, étant sur le bord des trottoirs, avec un éclairement minimum de $0^{\text{lux}},10$. En appliquant les formules précédentes, on aura pour l'intensité du foyer, en remplaçant les lettres par leur valeur :

$$I_s = \frac{e\sqrt{(h^2 + d^2)^3}}{h} = \frac{0{,}1\ \sqrt{(3^2 + 11^2)^3}}{3} = 49 \text{ bougies.}$$

Quant à l'espacement des foyers, l'on aura, en prenant l'éclairement dû à un foyer égal 0,05 sur le milieu LL_3 :

$$\cos^3 \alpha = \frac{he}{2I} = 70° ; \ l = 12^{\text{m}}\ L_1L_3 = 24^{\text{m}}.$$

Or l'expérience a montré qu'un brûleur Auer de 33 bougies suffisait pour le cas considéré (*fig.* 283). La différence du calcul et de la pratique provient de ce qu'on ne tient pas compte, dans le calcul des éclairements dus aux autres lampes.

3° En plaçant les foyers vis-à-vis (*fig.* 292), on a le minimum d'éclairement sur la ligne *n'*. On peut déterminer l'intensité des foyers en prenant l'éclairement fourni par un foyer en ces points comme la moitié de l'éclairement à obtenir. L'espacement, suivant L_1L_3, se fixe d'après l'éclairement obtenu au centre du rectangle $L_1L_2L_3L_4$, qui doit être le quart de l'éclairement minimum à obtenir. Le calcul se ferait com précédemment. Ce mode de groupement est avantag avec les foyers de faible intensité, mais il a l'inconvéni de multiplier les candélabres.

4° Dans la disposition en quinconce (*fig.* 293), dans laque les foyers sont à la fois sur la chaussée et les trottoirs,

procédera comme précédemment en s'imposant, pour l'intensité des foyers, l'éclairement minimum fourni par un foyer tel que L_1L_4 aux points de rencontre n, n' de la perpendiculaire de l'axe de la chaussée avec les bordures extrêmes, et, pour leur écartement, le centre du triangle $L_1L_2L_3$ pour lequel chaque foyer fournit un tiers de l'éclairement. Ce mode de groupement convient pour les places, les jardins, où il est toujours facile de multiplier les candélabres sans gêner la circulation ; mais il n'est employé qu'exceptionnellement pour l'éclairage des rues.

Les calculs précédents sont basés sur l'éclairement minimum ; on aurait pu faire d'autres hypothèses et se donner, par exemple, la condition de l'éclairement moyen, d'un éclairement maximum en certains points, etc., la manière de procéder serait identique. De même, pour la hauteur, on peut se la donner ou la calculer. Généralement, la hauteur des foyers à gaz varie entre 3 mètres et 3^m,50 ; celle des foyers électriques, dont l'intensité est plus grande, est comprise entre 4^m,50 et 7 mètres. On ne doit pas dépasser, dans le cas ordinaire, 10 à 12 mètres, à moins de foyers spéciaux constituant de véritables phares.

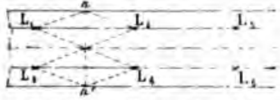


Fig. 292. — Foyers vis-à-vis.

Fig. 293. — Foyers en quinconce.

CHAPITRE XIV

PROJETS D'ÉCLAIRAGE

---

§ 1. — Gaz

257. Quantité de gaz à produire. — Soit à éclairer une ville de dix mille habitants; la quantité de gaz fournie devra être suffisante pour l'éclairage public et l'éclairage privé, y compris le chauffage. En nous basant sur la consommation annuelle par habitant dans les diverses villes de France : Lyon, 64 mètres cubes; Bordeaux, 77; Marseille, 55[1], on pourra admettre le chiffre de 50 mètres cubes par habitant.

Dans ces conditions, la quantité de gaz à fabriquer en une année sera de 500.000 mètres cubes. Si nous considérons que cette consommation a lieu d'une façon irrégulière, qu'elle est beaucoup plus grande en hiver qu'en été, nous serons amenés à prévoir des appareils suffisants pour les jours de plus grand débit. On peut admettre qu'en hiver (180 jours) on consomme les 2/3 du gaz annuel, l'autre tiers étant absorbé pendant les 180 jours d'été. La quantité de gaz à fabriquer en un jour d'hiver sera donc de :

$$\frac{2}{3} \times \frac{500.000}{180} = 1.851 \text{ mètres cubes.}$$

La consommation journalière n'est pas uniforme; l'éclai-

[1] A Paris, la consommation est d'environ 100 mètres cubes; à Bruxelles, elle atteint 140 mètres cubes. En Allemagne, elle varie de 60 à 80 mètres cubes.

rage maximum a lieu de six à onze heures du soir et, dans ces cinq heures, on absorbe bien les 2/3 des 1.851 mètres cubes, le reste du gaz étant employé pour l'éclairage public de la nuit, les besoins du matin et le chauffage pendant le jour. Pendant les cinq heures de débit maximum, l'usine devra donc pouvoir fournir par seconde, c'est-à-dire pendant 5×3.600 secondes :

$$\frac{2}{3} \times \frac{1.851}{5 \times 3.600} = 68 \text{ litres,}$$

soit 70 litres.

258. Appareils de fabrication. — Étant donnés ces chiffres, basés sur les résultats d'expériences journalières, il est facile d'en déduire les dimensions des appareils de fabrication établis pour une journée d'hiver.

Fours. — 100 kilogrammes de houille donnant 30 mètres cubes de gaz épuré ; la charge d'une cornue étant de 130 à 140 kilogrammes, soit 135 en moyenne, et la distillation durant quatre à cinq heures, soit quatre et demie, la production de gaz par cornue, en une journée, sera de :

$$\frac{30 \times 135 \times 48}{100 \times 9} = 216 \text{ mètres cubes.}$$

Si la production maxima d'une journée doit atteindre 1.851 mètres cubes, le nombre des cornues nécessaires sera donc de :

$$\frac{1.851}{216} = 8,5.$$

Nous prendrons, pour plus de sûreté, douze cornues réparties en deux fours de sept et cinq accolés. Cette disposition aura comme avantage de pouvoir se servir, au besoin, d'un seul four en été ou en hiver, et de faciliter, par suite, les visites et les réparations. Les cornues ne présentent rien de

particulier. Le chauffage des fours se fait au coke provenant de la distillation.

La consommation de houille par an sera de :

$$500.000 : 30 = 1.666^{ton},666.$$

La production annuelle du coke, à raison de 70 kilogrammes par 100 kilogrammes de houille, sera de :

$$\frac{500.000 \times 70}{30} = 1.166^{ton},666.$$

Si on consomme 5 hectolitres de coke, c'est-à-dire 200 kilogrammes par tonne de houille distillée, la consommation annuelle sera de :

$$\frac{500.000 \times 200}{30} = 333^{ton},3,$$

soit 1/3 environ de la quantité totale de ce combustible.

Barillet, collecteur, jeu d'orgue. — Le barillet aura la forme ordinaire ; le diamètre des conduits verticaux sera de $0^m,150$, celui du barillet de $0^m,500$; sa longueur sera celle des fours. Il suffit pour ces dimensions de se reporter à la figure 55 *bis*.

Le collecteur n'est pas indispensable ; dans le cas où on adopterait ce dispositif, il aurait comme diamètre $0^m,70$, et comme longueur celle du four.

Le calcul du jeu d'orgue, c'est-à-dire de la surface réfrigérante, peut se faire au moyen des températures d'entrée (55°) et de sortie (15°) du gaz et de sa chaleur spécifique (0,48) ; mais il est beaucoup plus simple de se servir des résult de la pratique.

On compte 20 à 25 mètres carrés de surface réfrigérar par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures, soit, prenant le chiffre moyen de 22 mètres, une surface de 40^{m^2}, pour 1.851 mètres cubes. Si, pour réduire le volume de

appareil encombrant, nous prenons des tuyaux annulaires avec un diamètre extérieur de $0^m,500$, un diamètre intérieur de $0^m,300$ et une hauteur de 4 mètres, on aura comme surface $4 \times 3,14\,(0,500 + 0,300) = 10$ mètres carrés par tuyau, soit, pour quatre de ces tuyaux, 40 mètres carrés. C'est la disposition adoptée figure 63.

La section de passage :

$$\pi\,(R^2 - R'^2) = 509 \text{ centimètres carrés}$$

est, plus que suffisante pour la vitesse. Le débit à la seconde est $\frac{1.851}{24 \times 3.000}$, soit 21 litres, ce qui donne pour la vitesse le chiffre de $0^m,40$, qu'on peut admettre.

Condensateur laveur. — La production du gaz étant voisine de 2.000 mètres cubes en vingt-quatre heures, nous pourrions prendre un condensateur Pelouze et Audoin n° 2; mais, son emploi n'étant pas indispensable, nous nous contenterons de colonnes à coke arrêtant à la fois le goudron et l'ammoniaque.

Comme colonnes à coke, nous choisirons deux cylindres ayant, chacun, 1 mètre de diamètre sur 4 mètres de haut; le volume d'un cylindre $\pi R^2 h$ est alors égal à :

$$3,14 \times \overline{0,50}^2 \times 4 = 3^{m3},14,$$

soit 30 hectolitres de coke, et pour les deux 60. On admet généralement 2 mètres cubes à $2^{m3},5$ par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures; les chiffres trouvés sont donc suffisants. La quantité d'eau nécessaire pour ce lavage, à raison de 30 à 40 litres par 1.000 mètres cubes, sera de 70 litres par jour; l'absorption de la pression est de 30 millimètres environ. La figure 63 indique les détails de ces colonnes et de leur canalisation.

On pourrait, pour l'absorption de l'ammoniaque, adopter un laveur Standard n° 2.

Extracteur. — Il ne faut pas songer ici à employer un extracteur rotatif; la production à raison de 21 litres par seconde, soit 77 mètres cubes à l'heure, est insuffisante. En effet, si on compte un cheval par 1.000 mètres cubes de gaz à l'heure et par centimètre de contre-pression, on voit qu'en admettant une contre-pression même exagérée, on trouverait un chiffre insignifiant.

Il en est de même d'un extracteur à vapeur : la consommation est de 5 à 8 kilogrammes de vapeur par 1.000 mètres cubes de gaz et par centimètre carré de contre-pression, soit, pour 1.851 mètres cubes et 30 centimètres, 4.200 kilogrammes en vingt-quatre heures. Le condenseur serait également assez restreint; si on compte 4 mètres carrés par 1.000 mètres cubes de gaz à l'heure, on aurait, à raison de 77 mètres cubes, une surface de $0^{m^2},300$.

On prévoira cependant, pour les divers besoins de l'usine (casse-coke, pompe à goudron, etc.), un moteur à gaz de 3 à 4 chevaux.

Diamètre des conduites. — La consommation journalière étant de 1.851 mètres cubes, le débit par heure est de 77 mètres cubes, soit 21 litres par seconde; on pourra prendre des tuyaux de $0^m,150$ de diamètre, ce qui donne, comme vitesse, la section étant de 0,0176 :

$$v = \frac{0,021}{0,0176} = 1^m,20.$$

Épurateurs. — La surface d'épuration indiquée est de 3 mètres carrés à $3^{m^2},5$ par 1.000 mètres cubes de gaz fabriqué, soit, pour 1.851 mètres carrés, une surface de 6 mètres carrés. Si on dispose le mélange par couches de $0^m,60$ d'épaisseur, la quantité de matière épurante sera de 6 mètres carrés $\times$ 0,60 = $3^{m^3},60$, soit 4 mètres cubes. Cette surface de 6 mètres carrés peut être reportée sur une ou deux couches séparées. Nous emploierons une seule couche dans un appareil de 2 $\times$ 2, soit 4 mètres carrés (*fig.* 68), à la condition d'avoir plusieurs épurateurs.

Nous aurons quatre épurateurs disposés aux sommets d

carré dont le centre sera occupé par une cloche distributrice. La manœuvre des couvercles se fera au moyen d'un palan.

Compteur. — Il devra faire 100 tours à l'heure. En se reportant aux données de cet appareil, on aura pour le volume utile :

$$1{,}851 = 100 \times 24 \times V;$$

d'où :

$$V = 0^{m^3}{,}770.$$

Le compteur comportera un enregistreur de fabrication.

Gazomètre. — Ses dimensions sont fixées de manière à ce qu'il puisse contenir 60 à 75 0/0 de la dépense d'une journée maxima d'hiver, qui est de 1.851 mètres cubes, soit, avec une approximation suffisante, 1.300 mètres cubes. Si on adopte pour la hauteur $h = 1/3D$, on aura :

$$V = \frac{3{,}14 \times D^2}{4} \frac{D}{3} = \frac{3{,}14 \times D^3}{12},$$

d'où :

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.300 \times 12}{3{,}14}} = 17^m{,}5$$

et :

$$h = 5 \text{ mètres.}$$

Le volume de la partie cylindrique $\frac{\pi D^2}{4} h = 1.208$ mètres cubes.

En prenant pour la calotte 0,80, le volume de cette dernière sera égal à :

$$\pi h \left(\frac{D^2}{8} + \frac{h^2}{6}\right) = 3{,}14 \times 0{,}80 \left(\frac{\overline{17.50}^2}{8} + \frac{\overline{0.80}^2}{6}\right) = 96 \text{ mètres cubes.}$$

La contenance totale est de 1.304 mètres cubes (*fig.* 72).

PLAN DE L'USINE A GAZ

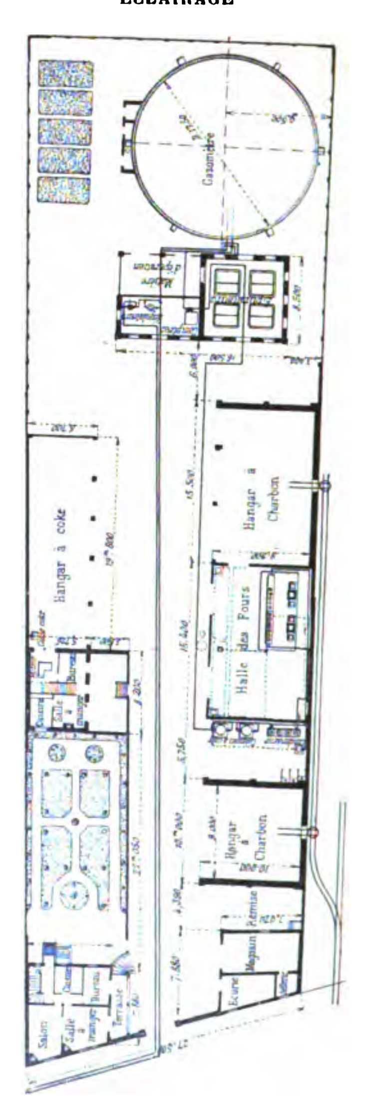


FIG. 294.

Régulateurs d'émission. — Comme nous le verrons par la suite, de l'usine partent deux tuyaux d'alimentation. Sur chacun d'eux nous installerons un régulateur d'émission, avec enregistreur de pression.

259. Emplacement et distribution de l'usine. — Il est certain qu'on aurait intérêt à placer l'usine au centre même de la ville; on réduirait au minimum les pertes de charge et, par suite, le diamètre des canalisations; mais d'autres considérations obligent à la placer à la périphérie; on choisira de préférence le voisinage de la voie ferrée, de manière à pouvoir, au moyen d'un raccordement, amener directement les wagons de charbon.

Quant à la disposition des appareils, elle est basée sur l'importance qu'il y a à réduire au minimum les manipulations.

Il suffit de se reporter à la figure 294, pour se rendre compte de la distribution adoptée.

260. Calcul des conduites. — *Choix de la canalisation.* — Chaque rue devra être parcourue par une conduite susceptible de fournir le gaz nécessaire à l'éclairage public et privé. Nous admettrons que la consommation est proportionnelle au nombre d'habitants; ce qui n'est pas tout à fait exact, car les grandes artères, tout en ayant un nombre d'habitants moindre, exigent plus d'éclairage. On pourrait, du reste, affecter d'un coefficient les rues importantes ou faire toute autre hypothèse se rapprochant davantage de la répartition exacte; le calcul serait le même.

Au moment le plus chargé, la consommation est de 70 litres par seconde pour dix mille habitants, soit $0^{lit},007$ par habitant. Le débit par rue est alors facile à établir, on aura le tableau suivant :

RUES	NOMBRE D'HABITANTS	CONSOMMATION PAR SECONDE	RUES	NOMBRE D'HABITANTS	CONSOMMATION PAR SECONDE
A	320	$2^{lit},240$	*Reports.*	6.040	$42^{lit},280$
B	950	6 ,650	*n*	530	3 ,710
C	200	1 ,400	*o*	300	2 ,100
D	220	1 ,540	*p*	40	0 ,280
E	240	1 ,680	*q*	300	2 ,100
a	30	0 ,210	*r*	130	0 ,910
b	180	1 ,260	*s*	200	1 ,400
c	70	0 ,490	*t*	220	1 ,540
d	120	0 ,840	*u*	100	0 ,700
e	700	4 ,900	*v*	250	1 ,750
f	400	2 ,800	*x*	200	1 ,400
g	700	4 ,900	*y*	200	1 ,400
h	680 + 150	5 ,810	L	580	4 ,060
i	140	0 ,980	M	170 + 500	4 ,690
j	400	2 ,800	N	»	»
k	100	0 ,700	O	70	0 ,490
l	240	1 ,680	P	70	0 ,490
m	200	1 ,400	Q	100	0 ,700
A reporter.	6.040	$42^{lit},280$	TOTAUX..	10.000	$70^{lit},000$

N. B. — La rue *h* comporte un collège de 150 élèves, et la place M. une caserne pour 500 soldats.

Les conduites se branchant les unes sur les autres, il est nécessaire de les classer par ordre d'importance. Il n'y a pas de règle fixe à ce sujet; en se reportant au plan de la ville (*fig.* 295), on voit comment se fait l'alimentation. Nous avons admis trois groupes de conduites, primaires, secondaires et tertiaires. Quelques-unes n'occupent pas la longueur entière de la rue; la consommation totale est alors répartie proportionnellement à la distance empruntée. De l'usine partiront, par la rue *p*, deux conduites maîtresses, de manière qu'en cas d'avarie à l'une, l'autre puisse desservir le réseau. Ur seule alimentera les brûleurs de *p*. Un numéro d'ordre a ét donné à chaque branchement. Le tableau ci-contre indiqu ce classement :

NOMS DES RUES	NUMÉROS	LONGUEUR	CONSOMMATION EN LITRES
Conduites principales			
		mètres	
p (entière).............	0_1	110	0^{lit},280
p (entière).............	0_2	110	»
u (de *p* à D)............	1	135	0 ,490
D (de *u* à E)............	2	115	0 ,960
C (entière).............	3	265	1 ,400
B (de C à A)............	4	225	4 ,050
A (entière + place M)...	5	180 + 150	2,240 + 4,690
u (de *p* à *h*)............	6	140	0 ,210
h (de *u* à *o*)............	7	425	4 ,410
Places N + O..........	8	75	0 ,490
Conduites secondaires			
D (de *u* à la fin)........	9	85	0 ,580
E (de *j* à *t*).............	10	240	1 ,180
o (entière + Q).........	11	240	2,100 + 0,700
n —	12	230	3 ,710
x —	13	190	1 ,400
f —	14	300	2 ,800
d —	15	130	0 ,840
s —	16	180	4 ,900
i (de O à *o* + place P)...	17	355	0,735 + 0,490
Place L...............	18	130	4 ,060
q (de B à E)...........	19	200	1 ,050
Conduites tertiaires			
q (de E à la fin).........	20	200	1 ,050
s (entière)..............	21	175	1 ,400
t —	22	185	1 ,540
r —	23	135	0 ,910
k —	24	80	0 ,700
j —	25	290	2 ,800
l —	26	95	1 ,680
m —	27	100	1 ,400
v —	28	260	1 ,750
g —	29	440	4 ,900
y —	30	300	1 ,400
b —	31	500	1 ,260
c —	32	180	0 ,490
a —	33	90	0 ,210
i (de *o* à la fin)..........	34	100	0 ,245
h (de *u* à la fin).........	35	120	1 ,400
E (de *t* à la fin)..........	36	110	0 ,500
B (de C à la fin)...........	37	140	2 ,600
TOTAL.........................			70 ,000

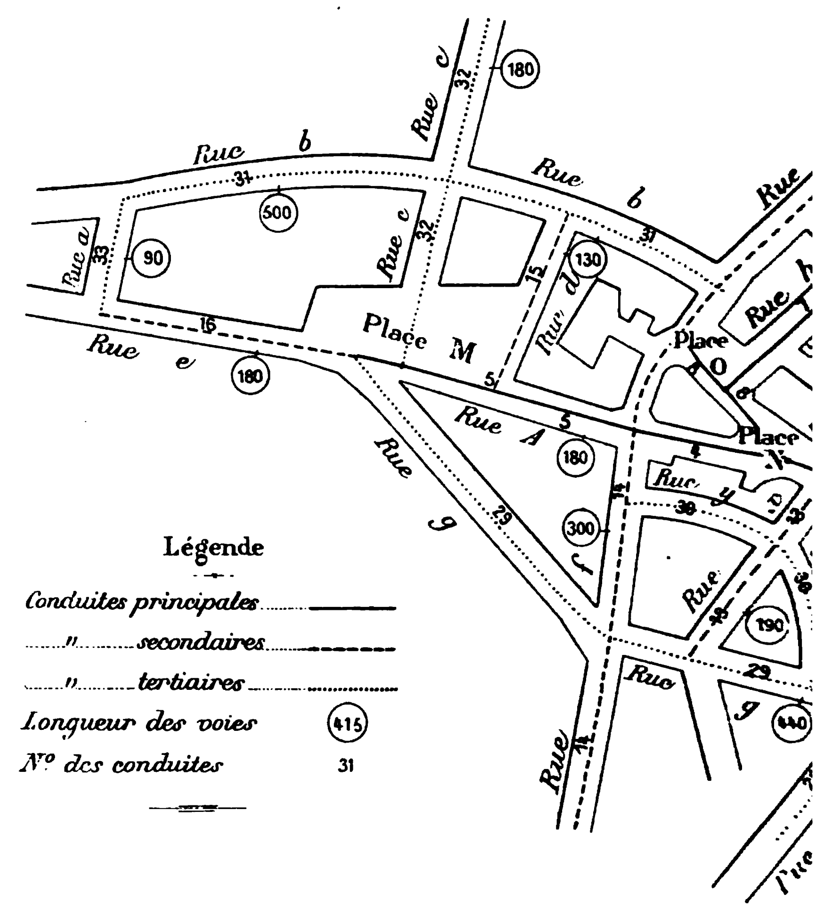
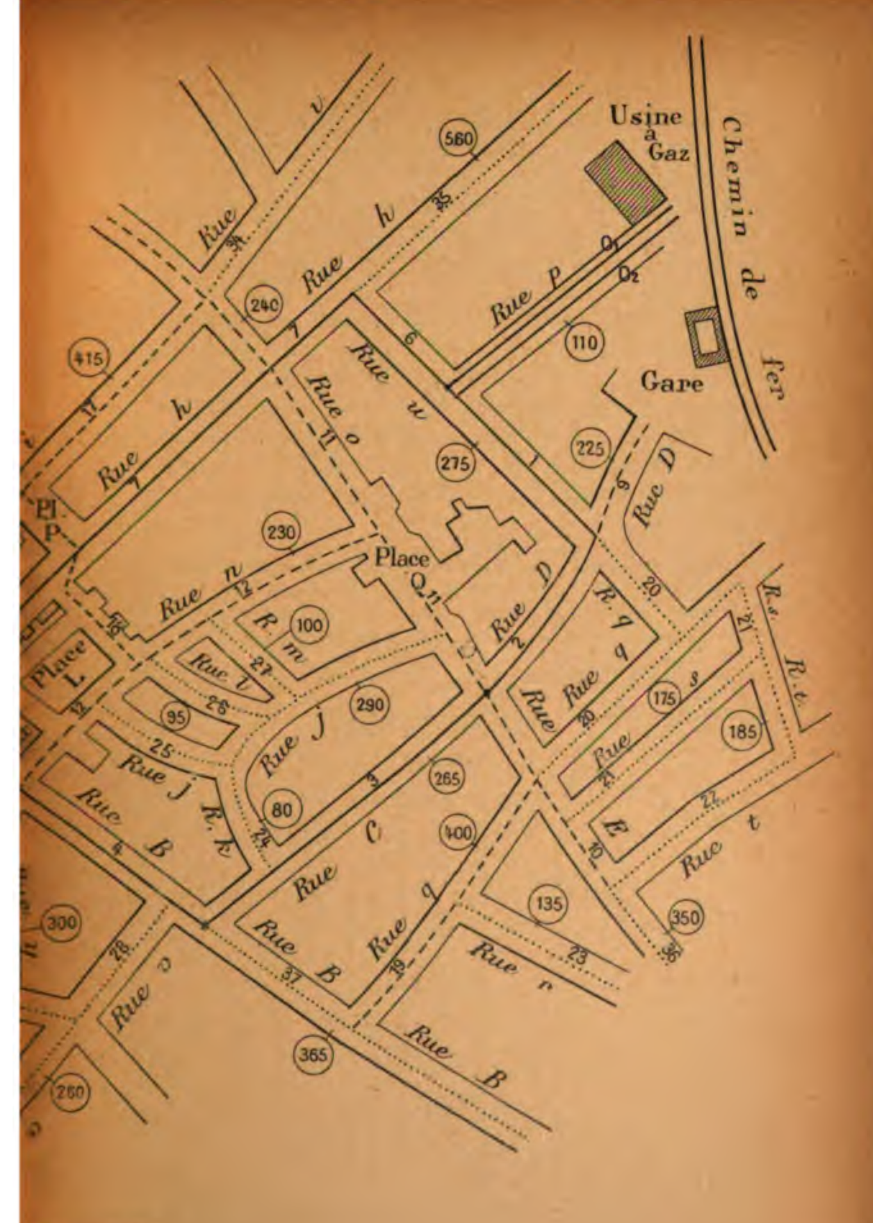

Rue b
Rue c
Rue a
Rue e
Rue d
Place M
Place O
Rue A
Rue g
Rue f
Rue y
Légende
Conduites principales
" secondaires
" tertiaires
Longueur des voies 415
N° des conduites 31

Fig. 295. — Pl



de la canalisation.

Nous supposerons que la circulation du gaz se fait dans un sens déterminé, de manière à pouvoir indiquer les conduites qui en alimentent d'autres; de cette façon, on est amené à classer les conduites principales en cinq groupes, I, II, III, IV, V, chaque groupe pouvant alimenter en partie ou entièrement un autre groupe; il en sera de même pour les conduites secondaires.

Dans le tableau suivant, la troisième colonne indique les conduites tertiaires; une accolade réunit les conduites alimentées par la même conduite secondaire désignée dans la deuxième colonne; celles-ci, à leur tour, sont alimentées par la conduite principale portée dans la première colonne.

Cette distribution est toute conventionnelle; on pourrait en adopter une autre qui ne changerait pas sensiblement les résultats.

CONDUITES PRINCIPALES			CONDUITES SECONDAIRES			CONDUITES TERTIAIRES		
Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
				Section I				
A + M 5		10,080	*e*16	180	5,110	*e*16	»	4,900
						*a*33	90	0,210
			*d*15	130	1,470	*d*15	»	0,840
						1/2*b*31	250	0,630
			*f*14	300	3,500	*f*14	»	2,800
						1/2*y*30	150	0,700
		2,940	»	»	»	*c*32	190	0,490
			»	»	»	1/2*g*29	220	2,450
	330	6,930	»	»	»	»	»	6,930
Total..	330	19,950	»	»	»	»	»	19,950
				Section II				
		12,495	*i*17 + P	355	2,100	*i*17 + P	»	1,225
						*i*34	100	0,245
						1/2*b*31	250	0,630
			18L	130	4,060	18L	»	4,060
			1/2*n*12	115	6,335	1/2*n*12	»	1,855
						*j*25	290	2,800
						l.26	95	1,680
2/3*h*7	285	2,940	»	»	»	»	»	2,940
N + O	75	0,490	»	»	»	»	»	0,490
Total..	360	15,925	»	»	»	»	»	15,925

N. B. — 18L devant alimenter 1/2*n*12, son débit sera 10,59, et non 4,060.

CONDUITES PRINCIPALES			CONDUITES SECONDAIRES			CONDUITES TERTIAIRES		
Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
				Section III				
						*x*13	»	1,400
			13*x*	190	4.550	1/2*g*29	220	2,450
		5,985				1/2*y*30	150	0,700
						1/2*q*19	»	0,525
			1/2*q*19	100	1,435	*r*23	135	0,910
			»	»	»	*k*24	80	0,700
		5,050	»	»	»	*v*28	260	1,750
			»	»	»	B37	140	2,600
C	265	1,400	»	»	»	»	»	1,400
B4	225	4,050	»	»	»	»	»	4,050
Total..	490	19,485	»	»	»	»	»	10,485
				Section IV				
			1/2*n*12	115	3,245	1/2*n*12	»	1,855
		7,455				*m*27	90	1,400
						*o*11	»	2.800
			o11	240	4,200	*h*35	120	1,400
*po*₂	110	»	»	»	»	»	»	»
*u*5	140	0,210	»	»	»	»	»	0,210
1/3*h*7	155	1,570	»	»	»	»	»	1,470
Total..	405	8,505	»	»	»	»	»	9,245

N. B. — o11 devant alimenter 1/2*n*, son débit sera de 7,455, et non 4,200.

CONDUITES PRINCIPALES			CONDUITES SECONDAIRES			CONDUITES TERTIAIRES		
Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
				Section V				
						E10	»	1.180
						*s*12	175	1,700
		5,145	E10	240	5,145	E36	110	0,500
						*t*22	185	1,540
						1/2*q*10	100	0,525
		1,630	»	»	»	20*q*	200	1,050
			D9	85	0,580	»	»	0,580
*po*1	110	0,280	»	»	»	»	»	0,280
*u*1	150	0,490	»	»	»	»	»	..490
D2	140	0,960	»	»	»	»	»	0,960
Total..	400	8,505	»	»	»	»	»	8,505

Remarquons maintenant que V alimente III, IV alimente II, et que I reçoit du gaz de II et de III; on aura :

Débit.				Longueur.
	I =	19lit,950	= 19lit,950	330m,00
II = II + 1/2 I =	15 ,925	+ 9lit,975	= 25 ,900	360 ,00
III = III + 1/2 I =	16 ,485	+ 9 ,975	= 26 ,460	490 ,00
IV = IV + II =	9 ,135	+ 15 ,925	= 25 ,020	405 ,00
V = V + III =	8 ,505	+ 16 ,485	= 24 ,990	400 ,60
Total.......	70 ,000			

Connaissant le débit et la longueur, il est alors très facile de calculer le diamètre. Nous supposerons, au départ de l'usine, une pression de 100 millimètres. La perte de charge admise est de 15 millimètres répartis à raison de : 4 à 6 millimètres pour les conduites principales, 5 à 6 millimètres pour les conduites secondaires, et 4 à 5 millimètres pour les tertiaires, soit au total 15 millimètres.

Faisons le calcul de I, on a :

$$D^5 = \frac{0,67Q^2L}{E};$$

dans le cas particulier, Q = 72 mètres cubes à l'heure. L = 330, et, si on prend E = 4, on aura :

$$D^5 = \frac{0,67 \times \overline{72}^2 \times 330}{4} = \frac{1.146.182}{4} = 286.546.$$

Parmi les chiffres donnant des diamètres courants, celui qui est immédiatement supérieur est le diamètre de 0,125 qui correspond à 304.275. Si on se reportait aux tables d'Arson, on trouverait qu'il faudrait adopter le diamètre de 0,135 établi pour un débit de 73 mètres cubes et une perte de charge de 25 millimètres par kilomètre, soit $8^{mm},25$ pour 330 mètres. Dans ces conditions nous prendrons 0,125, bien suffisant. La vitesse est en effet de :

$$Q = \omega v, \qquad v = \frac{19.950}{0,012222} = \frac{0,019950}{0,0122} = 1^{m},60,$$

chiffre qui n'a rien d'exagéré.

On pourrait prendre la méthode de D. Monnier, que no appliquons à la conduite secondaire II par exemple. Le dé

total II, Q, est de $25^{lit},900$; la dépense q le long du tronçon est égale à $15^{lit},925$, car II doit fournir encore $9^{lit},975$ pour I. On a alors pour le rapport :

$$\frac{q}{Q} = \frac{15.625}{25.900} = 0,61 ;$$

d'où, en remplaçant dans la formule :

$$M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6 \times n}\right) \frac{q^2}{Q^2},$$

les lettres par leurs valeurs, on aura, puisque n est pris égal à 10 :

$$M = 1 - 0,61 + 0,13 = 0,52;$$

et pour D^5, Q à l'heure étant égal à 93^{m3}, L à 360, et E à 6^{mm} :

$$D^5 = \frac{0,74 \times 0,52 \times \overline{93}^2 \times 360}{6} = \frac{0,43 \times \overline{93}^2 \times 360}{6}.$$

Le coefficient 0,67 est devenu 0,43. On voit donc de quelle importance est le débit le long de la conduite.

Ce résultat confirme notre premier calcul dans lequel nous avons pris 0,125 et non 0,135.

En faisant le même calcul pour les autres conduites, on aurait pour des pertes de charge de 6 millimètres :

$$II = 0,135, \quad III = 0,150, \quad IV = 0,150, \quad V = 0,150.$$

Nous adopterons, pour la canalisation, des tuyaux en fonte à emboîtement ayant les diamètres de 0,125, 0,135 et 0,150 et des longueurs respectives correspondant aux diverses sections suivantes :

Pour D = 0,125......... L = 330^m
0,135......... = 360^m
0.150......... = 405 + 490 + 400 = 1.295.

Le calcul serait le même si on employait des tuyaux Chameroy; toutefois, les pertes de charge étant moindres, on pourrait, sans inconvénient, adopter des diamètres plutôt faibles que forts.

Le calcul du diamètre des autres conduites se fera de la même façon, en se servant du tableau précédent, qui donne les longueurs et les débits de chaque partie de la canalisation.

Jusqu'à 0,06, nous conserverons les tuyaux en fonte ; au-dessous, nous emploierons le plomb. Le tableau ci-dessous indique les chiffres trouvés pour les diamètres, ainsi que la vitesse, toujours inférieure à 2 mètres par seconde.

NUMÉROS des CONDUITES	DIAMÈTRE	LONGUEUR	DÉBIT par SECONDE	DÉBIT par HEURE	SECTION	VITESSE
	m	mètres	lit.	m3	m	m
III (C + B4)	0,150	490	26,460	95,250	0,01776	1,43
IV (po_2 + u6 + 1/3h)	0,150	390	25,020	90,070	»	1,40
V (po_1 + u1 + D2)	0,150	400	24,990	89,960	»	1,40
II (2/3h7 + N + O)	0,135	360	25,900	93,240	0,01430	1,81
I (A + M)	0,125	330	19,950	71,820	0,01220	1,63
L18	0,100	130	10,595	38,130	0,00780	1,51
E10	0,080	240	5,145	18,520	0,00500	1,00
e16	—	180	5,110	18,390	»	1,00
x13	—	190	4,550	16,380	»	0,91
o11	—	140	7,455	26,830	»	1,49
1/2n12	—	115	6,335	22,900	»	1,26
1/2n12	0,060	115	3,255	11,730	0,00280	1,27
f14	—	300	3,500	12,600	»	1,23
i17 + P	—	355	2,100	7,200	»	0,73
j25	—	290	2,800	10,080	»	1,00
B37	—	140	2,600	9,360	»	0,93
g29	—	440	2,450	8,920	»	0,87
v28	0,043	260	1,750	6,300	0,001452	1,20
t22	—	185	1,540	5,544	—	1,05
l26	—	95	1,680	6,048	—	1,10
d15	—	130	1,470	5,292	—	1,00
1/2q19	—	100	1,435	5,166	—	—
s21	—	175	1,400	5,000	—	—
h35	—	120	—	—	—	—
m27	—	100	—	—	—	—
q20	0,037	2[illegible]0	1,050	3,780	0,001075	0,90
r23	—	135	0,910	3,726	—	0,84
D9	0,030	85	0,580	2,088	0,000707	0,82
b31	—	500	0,630	2,268	—	0,89
k24	—	80	0,700	2,520	—	1,00
12/2q19	—	100	0,525	1,890	—	0,72
E36	—	110	0,500	1,800	—	0,70
y30	—	300	0,700	2,520	—	1,00
c32	—	180	0,490	1,764	—	0,70
i34	0,025	100	0,245	0,882	0,000491	0,50
a33	—	90	0,210	0,656	—	0,42

Dans le calcul du diamètre des conduites, il n'a pas été tenu compte des différences de niveau entre les points

desservir et l'usine : il est vrai de dire que les diamètres ont été pris assez élevés pour n'avoir pas à faire entrer en ligne de compte la différence de 0mm,78 de pression par mètre d'altitude.

Par contre, il est utile de donner à la canalisation une certaine pente, 8 millimètres par mètre, pour rassembler les eaux dans les siphons isolateurs installés en certains points. Ces appareils constituant les points bas, il faudra fixer l'altitude des points hauts pour que la répartition des eaux se fasse d'une manière uniforme.

Il est également indispensable de prévoir les pièces spéciales pour raccorder les conduites entre elles aux changements de direction.

261. Éclairage public. — Nous emploierons pour l'éclairage public deux sortes de brûleurs : des becs Auer n° 1, de 85 litres, pour les rues ordinaires, et des brûleurs intensifs types Denayrouze, Bandsept ou Saint-Paul, de 250 litres, pour les places publiques.

Brûleurs Auer n° 1. — Ces brûleurs seront installés à 3 mètres de hauteur. Connaissant la courbe d'éclairement

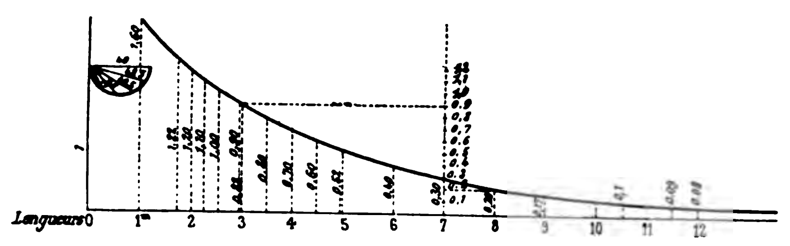


FIG. 296. — Courbe d'éclairement d'un brûleur Auer n° 1.

de ce brûleur (*fig.* 296), on peut déterminer par le calcul l'éclairement moyen pour différents rayons. Soit, comme exemple, le calcul pour un rayon de 9 mètres ; en appliquant la formule

$$SE_m = \frac{e's_1}{2} + e\left(\frac{s_1}{2} + s_2 + \dots \frac{s_n}{2}\right) + e' \frac{s_n + S}{2} + e_0 S,$$

on aura, d'après la courbe d'éclairement, pour les valeurs e :

$$e' = 0{,}40, \qquad e = 0{,}2, \qquad e'' = 0{,}03 \qquad e_0 = 0{,}17.$$

Comme, dans le cas particulier, il s'agit de cercles, les surfaces $s_1, s_2, \ldots, S$ sont proportionnelles au carré des rayons, dont les valeurs sont pour

$$s_1 = 2^{\text{m}},\ s_2 = 2{,}56,\ s_3 = 3{,}50,\ s_4 = 4{,}5,\ s_5 = 6,\ s_6 = 0,\ S = 9;$$

d'où on tire :

$$\overline{9}^2 E_m = \frac{0{,}40 \times 2^2}{2} + 0{,}20\left(\frac{\overline{2}^2}{2} + \overline{2{,}66}^2 + \overline{3{,}50}^2 + \overline{4{,}50}^2 + \overline{6}^2 + \frac{\overline{0}^2}{2}\right)$$
$$+ 0{,}03\left(\frac{\overline{0}^2 + \overline{9}^2}{2}\right) + 0{,}17 \times \overline{9}^2 = 30{,}65,$$

soit :

$$E_m = 0{,}477.$$

En faisant le calcul pour les valeurs différentes de S, on aura :

$S = 9^{\text{m}}$	E moyen $= 0^{\text{lux}},477$	e_0 minimum	0,170
$S = 10$	$= 0\ \ ,412$		0,120
$S = 11$	$= 0\ \ ,365$		0,095
$S = 12$	$= 0\ \ ,325$		0,080
$S = 13$	$= 0\ \ ,296$		0,075

Nous pourrons prendre un rayon égal à $12^{\text{m}},50$; l'éclairement moyen, dû à deux becs voisins, ne sera pas éloigné de $0^{\text{lux}},40$ et l'éclairement minimum de $0{,}078 \times 2 = 0{,}156$, chiffre suffisant. Les candélabres seront donc espacés de 25 mètres les uns des autres et alternés d'une rue à l'autre. La largeur d'une rue étant de 10 mètres, il faudra compter pour 100 mètres de longueur cinq candélabres, c'est-à-dire que le nombre des candélabres est égal à $\frac{D}{25} + 1$, D étant la lon-

gueur de la rue. Il sera bon également de placer un candélabre à l'angle de chaque rue, ce qui pourra modifier un peu l'espacement et le nombre.

Dans les artères principales, les candélabres seront placés à $0^m,50$ de la bordure du trottoir. Dans les rues de moindre importance, on emploiera des candélabres-consoles et même de simples consoles, placées à $4^m,50$ et 5 mètres de haut pour laisser libre le passage des voitures.

Dans ces conditions, le nombre des brûleurs est indiqué dans le tableau suivant.

RUES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE de brûleurs	RUES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE de brûleurs
	mètres	mètres			mètres	mètres	
A	180	2.250	7	*Report.*			184
B	365	4.020	16	*k*	80	400	3
C	265	2.000	10	*l*	95	570	4
D	225	1.370	9	*m*	100	680	3
E	350	3.500	15	*n*	230	1.600	10
a	90	630	3	*o*	240	1.920	9
b	500	4.750	19	*p*	110	1.650	4
c	180	1.140	8	*q*	400	3.200	17
d	130	1.170	5	*r*	135	680	6
e	180	2.250	8	*s*	175	1.300	7
f	300	1.950	14	*t*	185	1.050	8
g	440	7.800	18	*u*	275	1.930	10
h	560	3.920	24	*v*	260	2.600	9
i	415	5.000	17	*x*	190	1.300	8
j	290	2.000	11	*y*	300	3.540	8
	A reporter......		184			Total.....	290

Brûleurs intensifs. — Le calcul des brûleurs intensifs se ferait de la même façon ; supposons que les conditions d'éclairement moyen et d'éclairement minimum soient satisfaites par une portée de 15 mètres de rayon, soit un foyer pour une surface de :

$$S = \pi R^2 = 3,14 \times \overline{15}^2 = 705 \text{ mètres carrés};$$

autant de fois cette surface sera contenue dans celle d'une place, autant il faudra de brûleurs intensifs. Seulement ce nombre est quelquefois modifié par raison de symétrie, on aura les chiffres suivants :

	Surface en mètres carrés	Candélabres Calculés	Candélabres Exacts		Surface en mètres carrés	Candélabres Calculés	Candélabres Exacts
L	8.100	11	12	O	1.000	2	2
M	9.000	12	12	P	1.500	2	3
N	1.875	3	1	Q	2.125	4	3

Soit au total 33 brûleurs.

La figure 297 indique, pour la place L, comment on a été amené à modifier le chiffre 11 calculé et à mettre 12 foyers

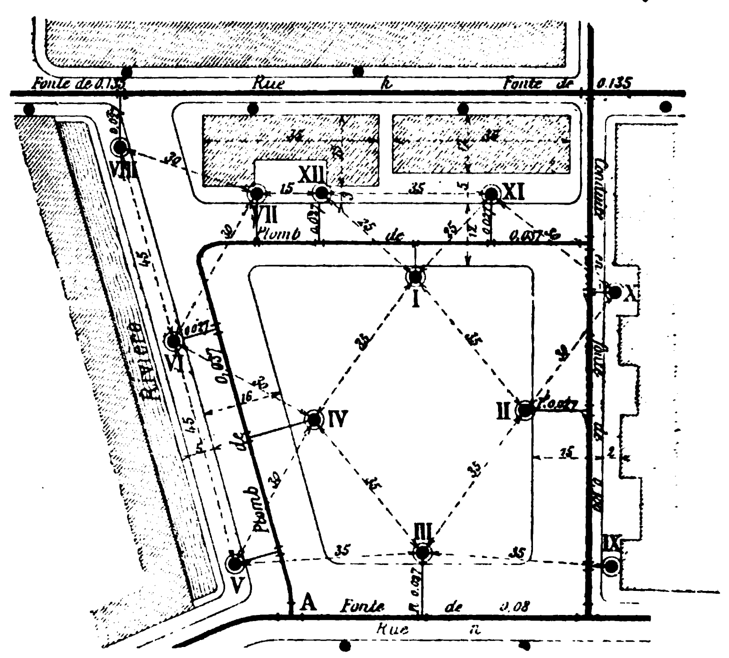


Fig. 297. — Eclairage de la place L.

par raison de symétrie; elle indique également les dime sions des conduites d'alimentation.

Pour le carrefour N, il n'y a qu'un brûleur intensif, l'éclairage se trouvant complété par celui des becs des rues voisines.

Dépense de gaz pour l'éclairage public. — La durée moyenne d'éclairage des rues est de douze heures environ pour tenir compte des saisons d'hiver et d'été. Dans ces conditions, on aura :

Pour 290 becs ordinaires	$290 \times 85 \times 12 =$	$296^{m3},82$
— 33 intensifs	$33 \times 250 \times 12 =$	$99^{m3},00$
	Total......	$395^{m3},82$

soit approximativement 1/5 de la consommation journalière prévue.

§ 2. — Électricité

262. Énergie à fournir. — Soit à éclairer, à l'électricité, la ville du projet précédent. Les données sur les quantités précises de courant à fournir en chaque point faisant défaut, on peut se baser, comme pour le gaz, sur la consommation moyenne de lumière par habitant, tant pour l'éclairage public que privé. Cette quantité correspond à une demi-lampe de 10 bougies par habitant. Cette hypothèse, basée sur des consommations moyennes, n'implique en rien le mode d'éclairage adopté, arc ou incandescence.

Les lampes à arc étant évaluées en lampes à incandescence, une lampe à arc de 10 ampères équivaut à 12 lampes à incandescence de 10 bougies comme consommation d'énergie.

On admet ainsi implicitement qu'il n'y a qu'une canalisation pour l'éclairage public et privé; mais, si on voulait les séparer, il suffirait de déterminer le nombre des foyers de l'éclairage public et la dépense d'énergie correspondante, qui, retranchée de celle des 5.000 lampes de 10 bougies admises, donnerait, par différence, la quantité d'énergie nécessaire à l'éclairage privé.

Pour le choix des générateurs, il est d'abord nécessaire de déterminer le mode de distribution adopté à courants alternatifs ou continus, à haute ou basse tension. Dans le cas particulier, étant donné le rapprochement des lieux à éclairer, la situation de l'usine supposée près de la ville, on peut prendre les courants continus avec une distribution à deux fils. La distribution à trois fils, qui aurait l'avantage de donner une économie dans les conducteurs, ne présente, au point de vue du calcul, pas plus de complication que celle à deux fils : on considère seulement les deux conducteurs extrêmes, comme si les lampes étaient montées deux par deux en série sur ces conducteurs, c'est-à-dire, en somme, comme si le voltage était doublé. La distribution se faisant en dérivation à deux fils, avec feeders d'alimentation, avec le type de lampe actuellement employé, le voltage aux bornes des lampes devra être de 110 volts. Si maintenant on se donne les diverses pertes de voltage depuis l'usine jusqu'aux lampes, soit $2^{\text{volts}},5$ sur les branchements amenant le courant dans les maisons, 2,5 sur les fils de distribution et 10 volts sur les feeders, on arrivera à avoir à l'usine un voltage de 125 volts, et il sera possible de fixer les conditions d'installation de celle-ci.

263. Générateurs de courant. — *Dynamos seules.* — En admettant une consommation de $3^{\text{watts}},3$ par bougie, l'énergie à fournir aux lampes sera de 165.000 watts, soit, à la tension de 110 volts, un courant de 1.500 ampères. Mais ce chiffre est un maximum ; il suppose toutes les lampes allumées en même temps, ce qui n'est pas le cas, et on se trouve amené à déterminer les conditions de fonctionnement de l'usine dans une des journées les plus chargées. En se basant sur des installations existantes, on trouve que le débit maximum a lieu entre cinq et six heures du soir, mais qu'il n'est que les 2/3 du nombre total des lampes, soit 1.000 ar pères dans le cas particulier ; il va ensuite en baissant po atteindre un chiffre constant entre minuit et quatre heui du matin, qui correspond à l'éclairage public, soit le qui de l'éclairage total, 300 ampères environ. Dans la journ la consommation est très faible, 100 ampères environ.

obtient ainsi une première courbe (*fig.* 298), dont les abscisses représentent les temps et les ordonnées le courant, et dont la surface correspond à 8.693 ampères-heures, soit un débit moyen de 362 ampères.

Si la canalisation est calculée pour qu'au moment du débit maximum, c'est-à-dire à 1.000 ampères, le voltage soit de 125 volts à l'usine, correspondant à une perte de 15 volts en ligne, cette perte pourra être diminuée à mesure que le débit diminue, elle ne sera plus que de 1^{volt},15 pour 100 ampères et 4^{volts},8 pour 300, ainsi de suite, la perte pouvant facilement se calculer dans chaque cas particulier par la proportion :

$$\frac{x}{I} = \frac{15}{1.000}.$$

On peut, dès lors, connaître la quantité d'énergie nécessaire à chaque moment de la journée. Les chiffres sont représentés sur la courbe extérieure (*fig.* 298) qui donne une surface correspondant à une consommation de 1.046.000 watts-heures en vingt-quatre heures, soit 43.000 watts en moyenne.

Pour le choix et le nombre des dynamos, on se basera sur la condition que les générateurs doivent travailler autant que possible à pleine charge. On peut, par exemple, pour la période la plus chargée, avoir deux dynamos excitées en dérivation de 125 volts × 500 ampères, soit 62^{kilw},500 chacune; elles seront groupées en quantité, et l'une d'elles sera supprimée dès que le débit sera inférieur à 500 ampères. Pour la journée, une dynamo de 150 ampères × 125 volts suffira. Il est nécessaire de prévoir, en outre, des dynamos de rechange, soit une de 500 ampères × 125 volts et une plus petite de 150 ampères × 125 volts.

En admettant pour les dynamos un rendement de 0,90, le moteur à vapeur ou à eau devra avoir une puissance effective de

$$\frac{2 \times 62.500^{\text{w}}}{0,90 \times 736} = 200 \text{ chevaux environ.}$$

Cette puissance pourra être répartie en un ou deux moteurs, auxquels il faudra adjoindre un moteur de rechange.

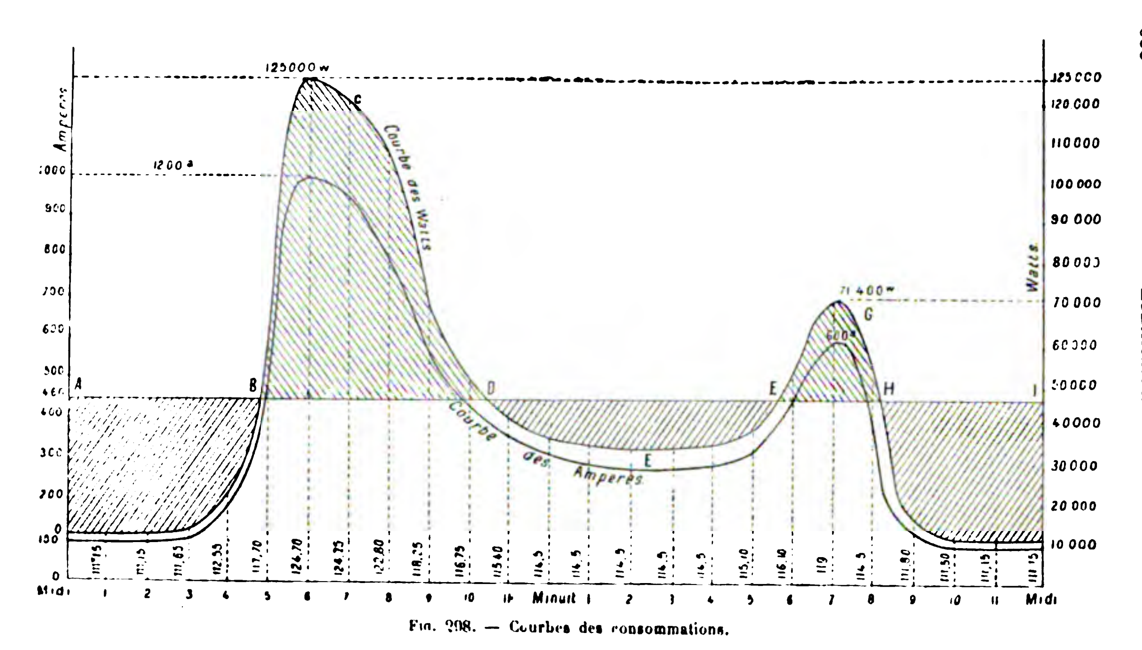


Fig. 298. — Courbes des consommations.

Dynamos avec accumulateurs. — La solution précédente oblige à avoir des unités de puissance différente, qui travaillent assez souvent à charge réduite. On peut tourner la difficulté en ayant récours à une batterie d'accumulateurs mis en dérivation; ils fourniront du courant aux moments les plus chargés, et en recevront pendant le reste de la marche. Les courbes précédentes vont servir au calcul des dynamos et de la batterie.

Tout le problème revient à calculer le débit d'une dynamo de 125 volts, dont le travail, pendant vingt-quatre heures à charge complète, suffira à la consommation totale d'énergie plus à la perte due à l'emploi d'accumulateurs qui, eux, emprunteront du courant à la dynamo pendant les périodes où la dépense sera inférieure à la production de la dynamo, pour la restituer aux autres moments. Il faut tenir compte en effet du rendement des accumulateurs, qui ne donnent à la décharge que 80 0/0 de l'énergie fournie à la charge. Si donc (*fig.* 298) on trace une ligne AB parallèle à l'axe des abscisses, la surface supérieure comprise entre cette ligne et la courbe des watts devra être équivalente aux 0,80 de la surface comprise entre cette ligne et la même courbe dans la partie au-dessous. Par essais successifs, on trouve que l'ordonnée OA correspond à 460 watts. Dans ces conditions, on obtient les résultats suivants :

Energie à fournir au circuit ou surface totale	1.046 kw.
Energie fournie par les accumulateurs en 24 heures ou surface au-dessus de AB	284 kw.
Energie à fournir aux accumulateurs ou surface au-dessous de AB, soit 284 : 0,80.......	355 kw.
Energie fournie par la dynamo en 24 heures ou surface du rectangle OABI : 460 $\times$ 24 =.............	1.104 kw.
Puissance de la dynamo $\frac{1.104.000^{w}}{24^{h}}$ = ...	46.000 w.
Soit $125^{v} \times 368^{a}$ = ...	46.000 w.

La batterie devra pouvoir débiter : 1.000 — 368 = 632 ampères au maximum, sous 125 volts, et avoir une capacité de 1.500 ampères-heures qui correspondent à la surface BCD, EGH. Ces résultats peuvent être obtenus avec une batterie de 70 éléments de 300 kilogrammes chacun, soit un voltage de

$1^v,8$ par élément, un débit moyen de 1 ampère ou maximum de 2,1 et une capacité de 5 à 6 ampères-heures par kilogramme.

Dans ces conditions, l'installation comprendra deux dynamos, dont une de rechange de 46 kilowatts. Il y a donc économie dans le nombre et dans la puissance, mais cette économie est compensée par la batterie d'accumulateurs. La puissance des deux moteurs, dont un de rechange, ne sera plus que de :

$$\frac{46.000}{0,90 \times 736} = 70 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Une fois le choix des générateurs de courant déterminé, il est facile, d'après les dimensions mêmes des dynamos et des moteurs, de fixer celles de l'usine en l'aménageant de manière à rendre le service très commode et en y ajoutant les appareils qui forment la liaison entre les machines et la canalisation.

264. Choix des conduites. — Pour le calcul de la canalisation, il est nécessaire tout d'abord de fixer l'intensité du courant dans les différentes parties du circuit. La canalisation comprendra les fils de distribution, formant un réseau identique à celui des rues, et les fils d'alimentation ou feeders, dont le nombre et la longueur seront subordonnés aux précédents.

On pourrait, pour les fils de distribution, les classer d'après l'importance des rues en plusieurs catégories et fixer, pour chaque catégorie, une intensité telle quo le total corresponde à celui de 1.500 ampères. Mais il est préférable et aussi simple de proportionner les rues au nombre d'habitants, sauf à corriger, s'il y a lieu, ce nombre dans quelques cas particuliers, comme de supposer par exempl les ouvriers non pas chez eux, mais à leur travail à l'usine de compter le théâtre, les casernes d'après la quantité de courant qu'ils peuvent absorber réellement. On réduir d'autant les rues peu fréquentées. Il est du reste possibl dans la pratique d'avoir des données assez précises dont o

tiendra compte. Dans ces conditions, si 3,3 est l'énergie par bougie, on aura, à raison de 5 bougies par habitant et pour 110 volts, un courant de $\frac{5 \times 3,3}{110} = 0^a,15$.

On peut donc établir le tableau suivant :

RUES	LONGUEUR EN MÈTRES	NOMBRE d'habitants	INTENSITÉ en ampères	RUES	LONGUEUR EN MÈTRES	NOMBRE d'habitants	INTENSITÉ en ampères
A	180	320	48	*Reports*	4.155	6.450	967,5
B	365	950	142,5	*i*	415	140	21
C	265	200	30	*j*	290	400	60
D	225	220	33	*k*	80	100	15
E	350	240	36	*l*	95	240	36
L	130	580	87	*m*	100	200	30
M	150	670	100,5	*n*	230	530	79,5
O	30	70	10,5	*o*	240	300	45
P	40	70	10,5	*p*	110	40	6
Q	40	100	15	*q*	400	300	45
a	90	30	4,5	*r*	135	130	19,5
b	500	180	27	*s*	175	200	30
c	180	120	10,5	*t*	185	220	33
d	130	70	18	*u*	275	100	15
e	180	700	105	*v*	260	250	37,5
f	300	400	60	*x*	190	200	30
g	440	700	105	*y*	300	200	30
h	560	830	124,5				
A reporter	4.155	6.450	967,5	TOTAUX	7.635	10.000	1.500

Le courant, ainsi déterminé pour chaque rue, est ensuite réparti le long du conducteur correspondant. Sauf quelques cas spéciaux, comme le branchement d'un théâtre, d'un monument, on ne peut guère fixer l'origine de chaque branchement et son intensité, on se contente d'admettre que la répartition se fait uniformément le long de chaque conducteur. L'intensité totale pour chaque rue peut alors être représentée par une prise de courant faite au milieu du conducteur. Si on considère les rues en impasse comme de simples branchements, on obtiendra un réseau complètement fermé.

Ce réseau sera alimenté par sept feeders répartis suivant les points O, I, ..., VI. Ce chiffre de 7 n'a rien d'absolu ; il

donne un débit moyen par feeder de 1.500 : 7 = 215, intensité qui se trouve réduite en pratique, toutes les lampes n'étant pas en service en même temps; de plus, la distance entre deux points d'alimentation est voisine de 300 mètres, chiffre acceptable. On suppose, comme dans le projet précédent, qu'on a été amené à placer pour des raisons spéciales l'usine à une des extrémités de la ville, il sera facile d'en déduire la longueur de chaque fil d'alimentation.

Le réseau général comportant sept fils d'alimentation pourra être subdivisé en six districts recevant chacun le courant en deux de ses points O-I, O-II, I-II, etc. En réalité, la répartition du courant n'est pas aussi précise, mais cette subdivision rend les calculs de la canalisation plus faciles.

265. Calcul de l'intensité dans les câbles de distribution. — Le calcul étant applicable à tous les secteurs, il suffit de considérer l'un d'eux, III-V (*fig.* 299) par exemple. Il est formé par une série de mailles dont les côtés ne sont autres que les rues indiquées sur la figure. Les bouts de rues en impasse, *f*, *x*, *v*, seront considérés comme de simples branchements dont l'intensité, qui n'est qu'une fraction de l'intensité totale du tableau précédent, est proportionnelle à la longueur correspondante.

Pour les rues appartenant à deux sections, comme *g*, *x*, on applique le principe indiqué numéro 207, et on reporte à leur point de jonction avec chacun des réseaux la composante correspondante ; dans le cas particulier, le débit étant uniforme, la composante est égale à la moitié de l'intensité considérée. Le secteur se ramène ainsi à un circuit fermé, dans lequel le courant entre en V et III et parcourt le conducteur figuré par un trait double, auquel se réunissent les rues intermédiaires formant autant de branchements, dont l'intensité est connue. On se trouve amené à calculer l'intensité entrant dans un câble sur lequel sont prises différentes dérivations dont l'intensité est déterminée ; les unes correspondant aux points de croisement ou nœuds, les autres indiquant le débit le long de ce câble.

Pour calculer le courant entrant par V et provenant du

feeder correspondant, il suffit de prendre, par rapport à III, le moment de V, et de l'égaler à la somme des moments partiels des intensités des nœuds et du milieu des côtés par rapport à III. Il est donc nécessaire de mesurer, tout d'abord, la longueur totale V-III = 660 mètres, et les longueurs partielles des nœuds et du milieu des mailles jusqu'à III, ce qui est facile d'après le tableau de la page 641. On aura alors, pour le courant entrant par V :

$$\text{en V} = \left. \begin{array}{l} 15 \times 37,5 + 7,50 \times 75 + 15 \times 112,5 \\ + (25 + 10)\ 150 + 27,5 \times 200 \\ + (11,25 + 5)\ 250 + 10 \times 290 \\ + (7,50 + 5)\ 330 + 15 \times 405 + 11,25 \\ \times 480 + 5 \times 500 + 15 \times 520 \\ + 22,5 \times 590 \end{array} \right\} : 660 = 90^{a},5$$

de même, pour le courant entrant par III :

$$\text{en III} = \left. \begin{array}{l} 22,5 \times 70 + 15 \times 140 + 5 \times 160 \\ + 11,25 \times 180 + 15 \times 255 + (7,5 + 5) \\ \times 330 + 10 \times 370 + (11,25 + 5)\ 410 \\ + 27,5 \times 460 + (10 + 25) \times 510 + 15 \\ \times 547,5 + 7,50 \times 585 + 15 \times 622,55 \end{array} \right\} : 660 = 117^{a}$$

Ces courants parcourent les différentes parties du circuit V-III, et leur intensité va constamment en diminuant, de la quantité correspondant à chaque nœud ou milieu de maille, jusqu'à la rue x, où chacun d'eux apporte une fraction du débit de cette rue.

Les calculs, pour les autres sections, donnent les résultats suivants:

Secteur O-I

En O $(13,5 \times 125 + 4,5 \times 295 + 105 \times 430) : 520 = 92^{a},5.$

En I $(105 \times 90 + 4,5 \times 225 + 13,5 \times 395) : 520 = 30^{a},5.$

Secteur O-III

En O $(48 \times 90 + 9 \times 180 + 100{,}5 \times 255) : 330 = 95^a{,}70$.
En III $(100{,}5 \times 75 + 9 \times 150 + 48 \times 240) : 330 = 61^a{,}80$.

Secteur I-II

En I $(41{,}5 \times 80 + 10{,}5 \times 175 + \ldots 6{,}5 \times 385) : 440 = 34^a{,}25$.
En II $(6{,}5 \times 55 + 9 \times 110 \ldots + 41{,}5 \times 360) : 440 = 54^a$.

Secteur II-IV

En II $(10 \times 25 + 15 \times 50 + \ldots 43 \times 452{,}5) : 485 = 139^a$.
En IV $(43 \times 32{,}5 + 7{,}5 \times 6{,}5 + \ldots 10 \times 460) : 485 = 102^a{,}75$.

Secteur II-VII

En II $(7{,}50 \times 70 + 21{,}5 \times 140 + \ldots 10{,}5 \times 475) : 495 = 65^a{,}75$.
En VII $(10{,}5 \times 20 + 3{,}75 \times 40 + \ldots 7{,}5 \times 425) : 495 = 63^a$.

Secteur III-IV

En III $(10 \times 25 + 7{,}5 \times 50 + \ldots 25 \times 227{,}5) : 265 = 77^a$.
En IV $(25 \times 37{,}5 + 30 \times 75 + \ldots 10 \times 240) : 265 = 57^a$.

Secteur V-VI

En V $(10 \times 50 + 19{,}5 \times 100 + \ldots 50 \times 250) : 300 = 66^a{,}5$.
En VI $(50 \times 50 + 17{,}5 \times 100 + \ldots 10 \times 250) : 300 = 40^a{,}5$.

Secteur V-VII

En V $(7{,}5 \times 67{,}50 + 29 \times 135 \ldots 10 \times 472{,}5) : 515 = 50^a$.
En VII $(10 \times 42{,}5 + 7{,}5 \times 85 \ldots 7{,}5 \times 447{,}5) : 515 = 53$

Dans le VI[e] secteur, le courant n'entrant que d'un côté, suffit de totaliser tous les branchements, soit :

$$3 + 5 + 3 + 5 + 33 + 5 + 20 = 74.$$

Si aux chiffres précédents on ajoute l'intensité des circuits isolés situés à l'origine de chaque secteur (*fig.* 299), on aura le tableau suivant :

SECTEURS	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	PAR SECTEUR Intensité	PAR SECTEUR Longueur
									amp.	m
O-I	92,5	30,5							123	520
O-III	123,45			71,80					192,50	330
I-II		42,00	54						96	440
II-IV			139		120,75				259,75	485
II-VII			86,25					71,75	158	495
III-V				117		90,5	40,5		207,50	660
III-IV				77	57				134	265
V-VI						66,5	91,5		107	300
V-VII						75		53	128	515
VI									91,50	245
Par feeder	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
Intensité	215,95	72.50	279,25	265,80	177,75	232	132,0	124,75	1.500	4.255
Longueur	1,070 m	970 m	530 m	820 m	610 m	625 m	440 m	110 m		

Ce tableau donne, d'une part, l'intensité à fournir dans chaque secteur et, de l'autre, l'intensité et la longueur de chacun des feeders.

266. Calcul des conducteurs primaires de distribution. — *Diamètre continu.* — Les calculs des conducteurs d'un circuit fermé se trouvent ainsi amenés à celui de simples branchements. Il sera donc facile de leur appliquer une des méthodes indiquées pour le calcul des câbles d'une canalisation ouverte, étant donné qu'on connaît l'intensité et que la perte de voltage admise est de 2,5 ; mais on peut aller jusqu'à 3 pour tenir compte des lampes non allumées. Il suffira d'examiner les divers cas, suivant qu'on veut obtenir un câble à section constante, conique ou la plus économique. Dans le cas du diamètre constant, on a la formule :

$$s = \frac{2\rho}{E_n} (I_1 l_1 + I_2 l_2 + \ldots I_n l_n).$$

Si, par exemple, on considère le câble V-VII (rues C, D, u), on a, en remplaçant les lettres par leur valeur dans le cas du cuivre :

$$2\rho = \frac{2}{60} = \frac{1}{30} \text{ (fil double)}; \qquad E_n = 3;$$

l_1, l_2, ..., l_n sont les intervalles qui séparent les diverses prises de courant, branchements ou prises de courant sur la rue même ; I_1, I_2, ..., I_n sont les intensités décroissantes depuis l'origine V jusqu'au point de rencontre avec le courant venant en sens inverse de VII. On obtiendra, pour le câble V-VII, deux sections différentes, la première $s_3 =$

$$\frac{1}{90}(42,5 \times 50 + 42,5 \times 40 + 90 \times 32,5 + 90 \times 12,5) = 87^{mm^2},5;$$

la seconde $s_6 =$

$$\frac{1}{90}(67,5 \times 53 + 67,5 \times 45,5 + 57,5 \times 16,5 + 57,5 \times 0) = 84^{mm^2},4.$$

On remarquera que, du milieu de D à E, il n'y a pas de prise de courant, on pourra donc faire la liaison de cette partie du circuit avec un fil à section très réduite.

On pourrait prendre la formule :

$$s = \frac{2\rho}{E_n}(L_1 i_1, + L_2 i_2 + \ldots L_n i_n)$$

dans laquelle i_1, i_2, ..., est la valeur de chaque branchement et L les longueurs cumulées depuis l'origine ; le résultat doit être le même. On aurait $s_3 =$

$$\frac{1}{90}(42,5 \times 10 + 85 \times 7,5 + 175 \times 20 + 265 \times 12,5) = 87^{mm^2},5.$$

En procédant de la même façon pour les autres secteu[rs] on obtiendra la section de tous les câbles ; si, à chaque fo[is] on calcule la densité, la perte de voltage et le volume [de] cuivre, on pourra résumer sous forme de tableaux [les] résultats relatifs à chaque secteur.

TRONÇON Rue	TRONÇON Longueur	INTENSITÉ	SECTION en mm²	DENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE Partielle	PERTE DE VOLTAGE Totale	VOLUME
				Secteur O-I			
e	90	92,5	92,5	1,00	3,00	3,00	
—	135	12,5	»	0,136	0,607	2,999	520 × 95,5
b	170	17	»	0,184	1,042	1,392	= 49.660 cm3
—	125	30,5	»	0,326	1,350	1,350	
				Secteur O-III			
M	75	95,70	80	1,196	2,990	2,990	
—	75	4,80	75,6	0,057	0,142	2,999	80 × 75 +
A	90	13,80	»	0,182	0,546	2,997	75,6 × 255
—	90	61,80	»	0,817	2,551	2,551	= 24.278 cm3
				Secteur I-II			
b	55	34,5	61,5	0,556	1,019	1,019	
—	55	27,75	»	0,451	0,826	1,845	
—	70	18,75	»	0,305	0,711	2,556	
—	70	11,75	»	0,197	0,459	3,015	61,5 × 485
O	15	2	»	0,032	0,016	2,999	= 29.827 cm3,5
h	95	12,5	»	0,203	0,642	2,983	
—	80	54	»	0,878	2,341	2,341	
				Secteur II-IV			
L	32,50	139	165	0,846	0,913	0,913	
—	32,50	96	»	0,583	0,630	1,543	
n	20	88,5	»	0,536	0,358	1,901	
—	20	71,5	»	0,433	0,289	2,190	
—	25	53,5	»	0,324	0,378	2,568	
—	35	31	»	0,188	0,219	2,787	
—	60	16	»	0,097	0,194	2,981	1,65 m × 48.500 = 80.025 cm3
—	60	24	»	0,145	0,290	2,986	
Q	20	35,25	»	0,207	0,138	2,696	
—	20	50,25	»	0,304	0,202	2,558	
j	50	57,75	»	0,350	0,583	2,356	
—	50	77,75	»	0,471	0,785	1,773	
—	25	92,75	»	0,562	0,469	0,988	
—	25	102,75	»	0,622	0,519	0,519	
				Secteur II-VII			
P	20	65,75	132	0,498	0,332	0,332	
—	20	55,25	»	0,418	0,278	0,610	
i	77,50	51,50	»	0,390	1,007	1,617	
—	77,50	44	»	0,333	0,860	2,477	
o	40	35,50	»	0,261	0,357	2,834	275 × 132 +
—	40	15,50	»	0,117	0,156	2,990	220 × 115,7
h	40	19	»	0,164	0,218	2,994	= 61.754 cm3
—	40	34	»	0,293	0,390	2,776	
u	70	55,50	»	0,479	1,117	2,376	
—	70	63	115,7	0,544	1,269	1,269	

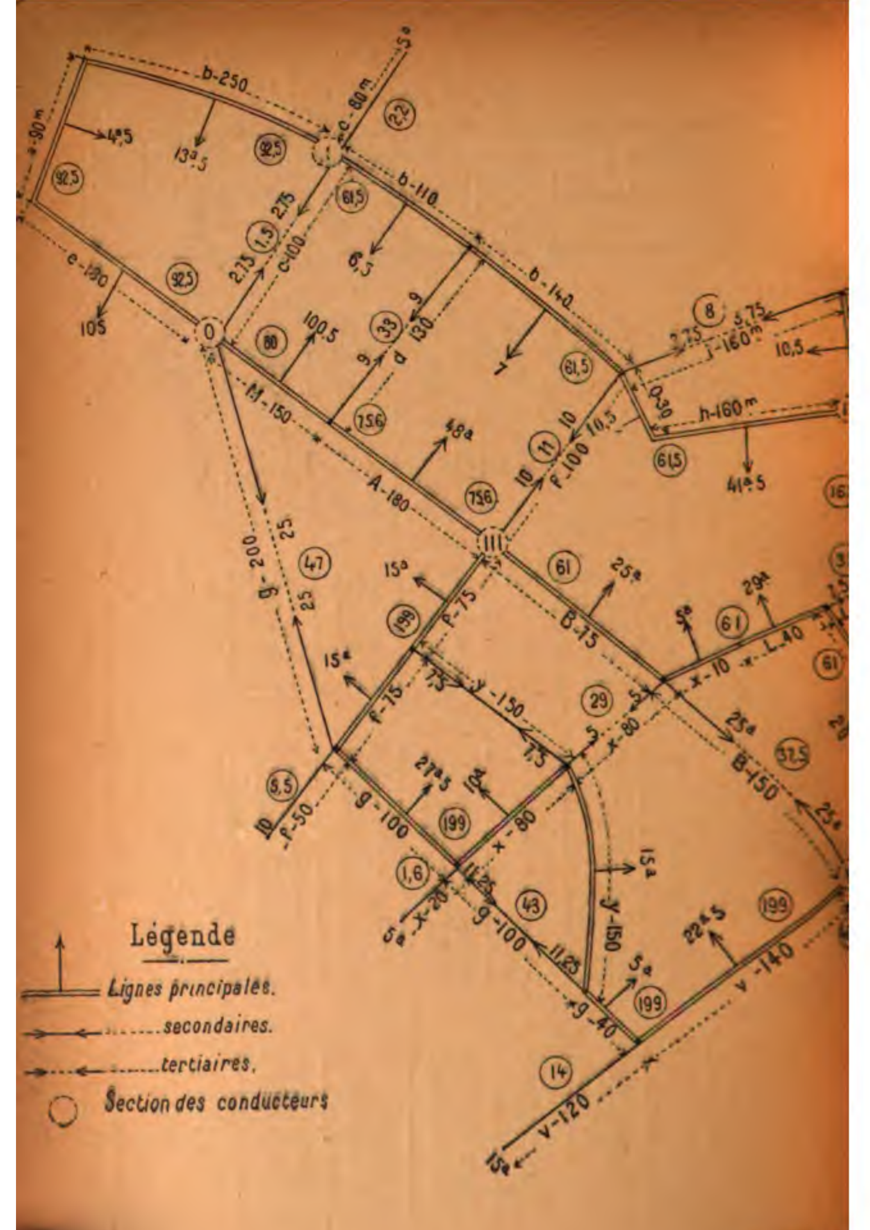
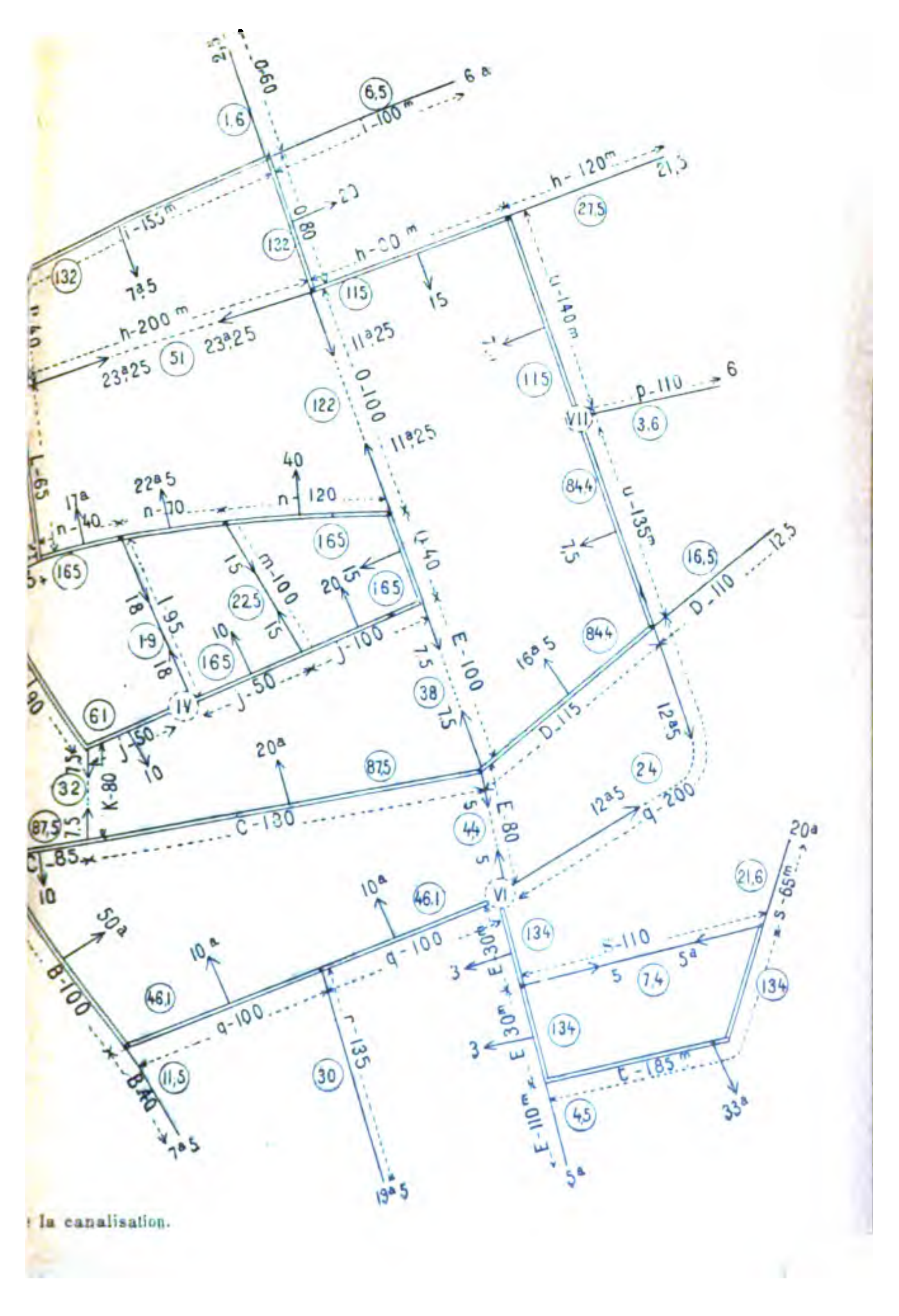

b-250
b-110
b-140
c-100
c-80m
e-180
M-150
A-180
B-75
B-150
F-100
F-75
F-50
g-200
g-100
g-40
y-150
x-80
x-10
x-20
L-40
h-160m
j-160m
v-140
v-120
Légende
Lignes principales.
secondaires.
tertiaires.
Section des conducteurs

Fig. [illegible] —



: la canalisation.

TRONÇON		INTENSITÉ	SECTION en mm²	DENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE		VOLUME
RUE	Longueur				PARTIELLE	TOTALE	
				Secteur III-V			
f	37,5	117,0	199	0,590	0,720	0,720	660 × 199 = 131.340^{cm3}
—	37,5	102	»	0,510	0,637	1,357	
—	37,5	94,5	»	0,484	0,605	1,962	
—	37,5	79,5	»	0,400	0,500	2,462	
g	50	44,5	»	0,223	0,371	2,833	
—	50	17	»	0,085	0,131	2,964	
x	40	0,75	»	0,003	0,004	2,968	
—	40	9,25	»	0,046	0,061	2,790	
y	75	21,75	»	0,109	0,272	2,909	
—	75	36,75	»	0,184	0,460	2,637	
g	20	48	»	0,251	0,167	2,177	
—	20	53	»	0,266	0,144	2,010	
v	70	68	»	0,346	0,807	1,866	
—	70	90	»	0,454	1,059	1,059	
				Secteur III-IV			
B	37,5	77	61	1,262	1,577	1,577	61 × 265 = 16.165^{cm3}
—	37,5	52	»	0,852	1,065	2,642	
x	5	22	»	0,360	0,060	2,702	
—	25	17	»	0,278	0,231	2,933	
L	20	12	»	0,196	0,130	2,988	
j	45	19,5	»	0,311	0,467	2,858	
—	45	39,5	»	0,647	0,971	2,391	
—	25	47	»	0,770	0,642	1,420	
—	25	57	»	0,934	0,778	0,778	
				Secteur V-VI			
B	50	66,5	46,1	1,442	2,403	2,403	46,1 × 300 = 13.830^{cm3}
—	50	16,5	»	0,357	0,595	2,998	
q	50	1	»	0.021	0,038	2,980	
—	50	11	»	0,238	0,396	2,942	
—	50	30,5	»	0,654	1,106	2,546	
—	50	40,5	»	0,878	1,440	1,440	
				Secteur VI			
E	15	74	134	0,552	0,276	0,276	134 × 245 = 32.830^{cm3}
—	15	71	»	0,530	0,265	0,541	
—	15	66	»	0,492	0,246	0,787	
—	15	63	»	0,470	0,235	1,022	
t	92,5	58	»	0,432	1,332	2,354	
—	92,5	25	»	0,186	0,573	2,927	
				Secteur VII-V			
C	42,5	50	87,5	0,571	0,808	0,808	265 × 87,5 + 250 × 84,4 = 44.287^{cm3}
—	42.5	40	»	0,458	0,648	1,456	
—	90	32.5	»	0,375	1,125	2.581	
—	90	12,5	»	0.142	0,425		
D	57,5	»	84,4	»			
—	57,5	16,5	»	0,195	0,373	2,998	
u	67,5	45,5	»	0,539	1,212	2,625	
—	67,5	53	»	0,618	1,413	1,413	

Conducteurs coniques. — Si, au lieu d'avoir des conducteurs de diamètre constant, on adoptait des fils de diamètre décroissant, on appliquerait la formule :

$$s_1 = \frac{2\rho}{E_n} \times L \times I_1, \quad s_n = \frac{2\rho}{E_n} L \times I_n,$$

dans laquelle la valeur de s est obtenue en multipliant l'intensité correspondante $I_1, \ldots, I_n$ par la constante $\frac{2\rho}{E_n}$ L, où 2ρ est la résistance spécifique du fil aller et retour; E, la perte totale admise, et L, la longueur totale du câble. En appliquant cette formule au secteur II-IV, on a pour le câble partant de II, $L = 235^m$; $E_n = 3$; $2\rho = \frac{1}{30}$; les valeurs $I_1, \ldots, I_n$ sont les mêmes que précédemment; on a donc pour la première partie où l'intensité est 139 :

$$s = \frac{1 \times 235}{30 \times 3} \times 139 = 368 \text{ millimètres,}$$

et ainsi de suite pour les autres, en changeant I à chaque fois. En indiquant la densité et la perte de voltage, on obtient le tableau suivant :

TRONÇON		INTENSITÉ	SECTION	DENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE		VOLUME DE CUIVRE
RUE	Longueur				PARTIELLE	TOTALE	
L	32,50	139	368,8	0,377	0,416	0,416	11.986
—	32,50	96	249,6	»	0,416	0,832	8.112
n	20	88,5	230,10	»	0,256	1,088	4.602
—	20	71,5	185,90	»	0,256	1,344	3.718
—	35	53,5	139,10	»	0,448	1,792	4.868
—	35	31	80,6	»	0,448	2,240	2.821
—	60	16	41,6	»	0,768	3,008	2.496
—	60	24	66,72	»	0,715	2,974	3.883
o	20	35,25	98,00	0,359	0,238	2,260	1.860
—	20	50,25	139,7	»	0,238	2,022	2.794
s	50	57,75	160,55	»	0,595	1,784	8.027
—	50	77,75	216,15	»	0,595	1,189	10.807
—	25	92,75	257,85	»	0,297	0,594	6.446
—	25	102,75	285,65	»	0,297	0,297	7.141
	485						79.561

Le volume du cuivre doit être le même que dans le cas de la section uniforme. La différence de 79.561 à 80.000 provient de ce que les chiffres ont été majorés dans le cas de la section uniforme.

Conducteurs de poids minimum. — Si on voulait réduire au minimum la dépense de cuivre, le calcul de la section est différent. On applique la formule :

$$s_1 = \frac{2\rho}{E_n} \sqrt{I_1} \left(l_1 \sqrt{I_1} + \ldots l_n \sqrt{I_n} \right) \text{ et } s_n = \frac{2\rho}{E_n} \sqrt{I_n} \left(l_1 \sqrt{I_1} \ldots l_n \sqrt{I_n} \right).$$

Dans le cas particulier de la section II-IV, on a pour le câble II ... IV :

$$l_1 \sqrt{I_1} + \ldots l_n \sqrt{I_n} = 32{,}50 \sqrt{139} \times \ldots + 60 \sqrt{16} = 1746{,}35 ;$$

le coefficient $\frac{2\rho}{E_n}$ conserve la valeur précédente, c'est-à-dire $\frac{1}{90}$; on en déduit les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

TRONÇON		INTENSITÉ	$\sqrt{I}$	$l_1\sqrt{I}$	SECTION	DENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE	VOLUME DE CUIVRE
nce	Longueur							
L	32,50	139	11,75	381.875	227,37	0,611	0,661	7.389
—	32,50	96	9.80	318,50	189	0,508	0.550	6.142,5
n	20	88,5	9,38	187,6	181	0.490	0,326	3.620
—	20	71,5	8,43	168,6	161	0.443	0,295	3.210
—	35	53,5	7.28	254,80	140	0,380	0,443	4.900
—	35	31	5,57	194.95	98	0,316	0,368	3.430
—	60	16	4	240	77,40	0,207	0.404	4.644
—	60	24	4,9	294	87,80	0.273	0,546	5.268
Q	20	35,25	5,92	118,4	106	0.332	0,221	2.120
—	20	50,25	7,07	141,4	126	0,400	0,266	2.5
s	50	57,75	7,55	377,5	135,8	0,428	0.713	6.7
—	50	77,75	8.78	189	157,8	0.495	0,825	7.8
—	25	92,75	9.60	240	172	0,539	0,449	4.[illegible]
—	25	102,75	10,10	252,2	181	0,567	0,469	4.[illegible]
	485							66.[illegible]

267. Calcul des conducteurs secondaires de distribution. — Les conducteurs secondaires représentés par un trait simple sur la figure 290 sont réunis, à leurs extrémités, à un câble principal d'une même section ou à deux câbles de section distincte ; l'intensité étant souvent différente pour chaque moitié de câble, on pourrait avoir une section en rapport ; mais il est préférable d'avoir une conduite de section uniforme. Le calcul se fait alors de la façon suivante : en désignant par e, e' les pertes de voltage disponibles aux extrémités du câble, x et x' les longueurs correspondantes, on a :

$$\frac{e}{x} = \frac{e'}{x'} = \frac{e + e'}{l} = \frac{2\rho i}{s},$$

d'où on déduit la valeur de s, ce qui permet d'établir le tableau suivant.

RUES	LONGUEUR	INTENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE $c + e'$	PERTE DE VOLTAGE TOTALE	SECTION en mm²	DENSITÉ
E	100	7,5	0,646 + 0	0,646	38	0,200
m	100	15	2,012 + 0,213	2,225	22,5	0,666
g	200	25	0,538 + 3,00	3,538	47	0,532
f	100	10	3 + 0	3,000	11	0,909
d	130	9	1,155 + 0,003	1,158	33	0,272
l	95	18	3,000 + 0,843	3,843	19	0,947
x	80	5	0,358 + 0,091	0,449	29	0,172
L	25	7,5	1,494 + 0,142	1,636	35	0,214
h	200	23,25	3 + 0	3	51	0,450
i	160	3,75	2,390 + 0	2,390	8	0,468
o	100	11,25	0,306 + 0	0,306	122	0,092
B	150	25	0,358 + 0	0,358	37,5	0,666
k	80	7,5	2,580 + 1,544	4,124	3,2	2,343
s	110	5	2,459 + 0	2,475	7,4	0,675
t	80	5	3 + 0	3	4,4	1,136
q	200	12,5	3 + 0,375	3,375	24	0,520
q	100	11,25	0,823 + 0,032	0,855	43	0,261
y	150	7,50	0,091 + 1,643	1,734	21	0,357
c	100	2,75	3 + 3	6	1,5	1,833
	2.260					

268. Calcul des conduites tertiaires. — Les conduites tertiaires ne sont autres que de simples branchements; pour quelques-uns la perte de voltage disponible serait trop faible, et donnerait lieu à une section exagérée. On tourne la difficulté en admettant, pour ceux-là, une perte de 4 volts depuis l'origine, dont ils sont assez éloignés pour bénéficier de ce que la consommation ne se fait jamais au maximum. On pourra encore, pour les prises du courant sur ces conducteurs, admettre une perte de tension inférieure à 2,5, comme précédemment.

Le débit se faisant uniformément le long de ces conduits, à raison de i' par mètre courant, on a $i = i'l$, pour une fraction dl de la conduite; si la section est constante, la perte supplémentaire $de = \frac{2i'ldl' \times \rho}{s}$, ou pour la longueur totale $\frac{2i'l\rho l}{2s}$; or $i'l$ représente le débit total i, la perte sera :

$$e = \frac{i \times l}{s} \rho,$$

c'est-à-dire qu'on doit prendre la moitié de la longueur totale.

LIGNES	LONGUEUR	INTENSITÉ	PERTE DE VOLTAGE PARTIELLE	PERTE DE VOLTAGE TOTALE	SECTION	DENSITÉ
r	135	19,5	1,454	4	30	0,450
B	40	17,5	1,000	4	11,5	1,564
h	120	21,5	1,614	4	27,5	0,838
o	60	2,5	1,523	4	1,6	0,922
i	100	6	1,523	4	6,5	0,922
p	110	6	3	3	3,6	0,810
D	110	12,5	1,375	4	16,5	0,760
E	110	5	1,916	3	4,5	1,110
f	50	10	1,538	4	5,5	1,818
x	20	5	1,036	4	1,6	3,124
v	120	15	2,134	4	14	1,078
s	65	20	1	4	21,6	0,926
c	80	5	3	3	2,2	1,136
	1.120					

N. B. — La section de *x* ne satisfait pas à la condition de la densité, il y aurait eu de l'augmenter.

Les sections ainsi calculées pour tous les conducteurs, pratiquement, on prendra le diamètre des fils du commerce, qui s'en rapprochent le plus.

269. Vérification. — Il s'agit maintenant de s'assurer que les sections calculées sont suffisantes. Cette vérification se fait au moyen des lois de Kirchhoff, qu'on applique de différentes manières, suivant le cas.

a) Dans un circuit fermé, alimenté par un point seulement, comme le secteur VI (*fig.* 300) par exemple, on peut

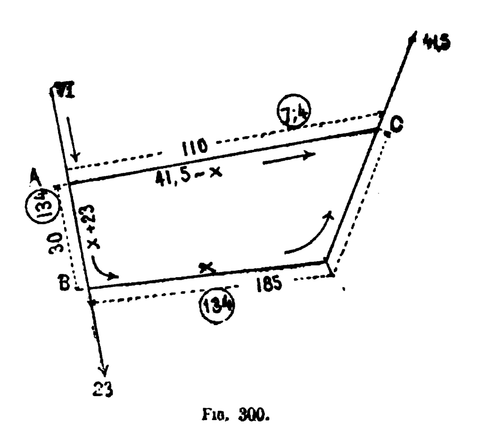


Fig. 300.

procéder de la façon suivante : on reporte aux nœuds ou points de croisement A, B, C, les intensités relatives à chaque branchement, on a ainsi en B une intensité égale à 23 ampères, en C à 41,5 ; dès lors, si on désigne par x le courant qui parcourt le conduit BC, celui de AB sera égal à $x + 23$ et celui de AC à $41,5 - x$, en supposant connu le sens de circulation des courants. Dès lors, en appliquant au circuit fermé la loi de Kirchhoff $\Sigma ri = 0$, on aura :

$$\frac{(x + 23)\,30}{134} + \frac{x \times 185}{134} - \frac{(41,5 - x)\,110}{7,4} = 0,$$

d'où on déduit $x = 37,15$.

Le courant suivant AB devient 37,15 + 23 = 60,15, et celui de AC, 41,5 — 37,15 = 4,35. En reportant les intensités aux nœuds à leur place primitive, les intensités réelles dans chaque conducteur seront égales aux précédentes, augmentées ou diminuées de la valeur du branchement. Ainsi, dans la première moitié de BC, le courant est égal à 37,15 + 16,5 = 53,65, et, dans la seconde, 37,15 — 16,5 = 20,65; on obtient ainsi les chiffres de la figure 301.

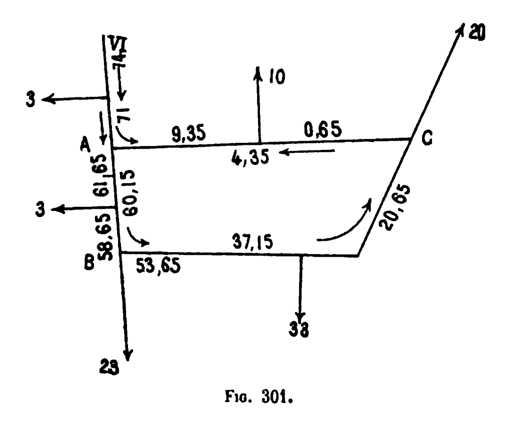


Fig. 301.

Les intensités trouvées ne diffèrent que fort peu de celles du tableau du calcul des sections; celles-ci sont donc acceptables.

b) Dans un circuit fermé recevant le courant en deux points, on applique la méthode Herzog et Starck, qui a comme point de départ le transport aux nœuds des intensités relatives aux divers branchements, opération déjà faite pour le calcul des conducteurs. On écrit ainsi, pour chaque maille, l'équation d'équilibre $\Sigma ir = o$, en prenant comme connue le courant d'un des conducteurs. Il en résulte ie l'on a autant d'équations que de mailles, c'est-à-dire, ns le cas d'un réseau très étendu, un nombre considérable ëquations longues à résoudre. On peut circonscrire le proème en réduisant le nombre des mailles, c'est-à-dire en bdivisant le réseau en plusieurs districts.

Soit, par exemple, le réseau des figures 302 et 303, formé d'une partie du secteur II-IV et V-III; on suppose dès lors que les conducteurs qui relient ce réseau aux sections voisines fournissent exactement la quantité du courant nécessaire, ce qui n'est pas absolument exact.

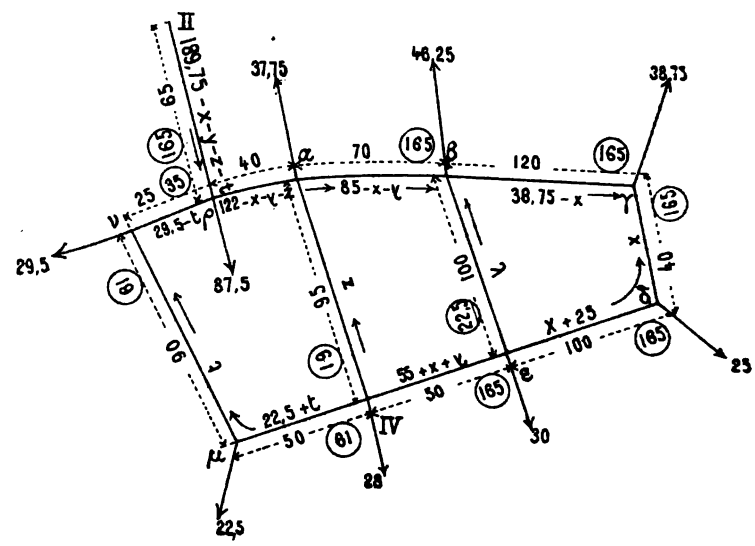


Fig. 302.

La longueur, la section des conducteurs ainsi que le sens du courant étant déterminés, on aura pour chaque maille, en écrivant l'équation $\Sigma ir = 0$:

$$\frac{40x}{165} + \frac{(x+25)\,100}{165} - \frac{y \times 90}{22,5} - \frac{(38,75-x) \times 120}{165} = 0,$$

$$\frac{(55+x+y)\,50}{165} + \frac{90y}{22,5} - \frac{95z}{19} - \frac{(85-x-y)\,70}{165} = 0,$$

$$\frac{(22,5+t)\,50}{61} + \frac{90t}{61} - \frac{(29,5-t)\,25}{35}$$

$$+ \frac{(122,75-x-y-z)\,40}{165} - \frac{95z}{19} =$$

On n'a que 3 équations pour 4 inconnues; pour avoir la quatrième, on considère comme une maille le circuit complet que forment les deux feeders, dont on suppose la résistance nulle, avec les conducteurs des rues l et L; on aura alors :

$$\frac{z \times 95}{19} - \frac{(122,75 - x - y - z)\,40}{165} - \frac{(189,75 - x - y - z - t)\,65}{165} = 0.$$

En résolvant ces quatre équations, on obtient :

$$x = 36,823 \qquad z = 12,017$$
$$y = 11,256 \qquad t = 15,856$$

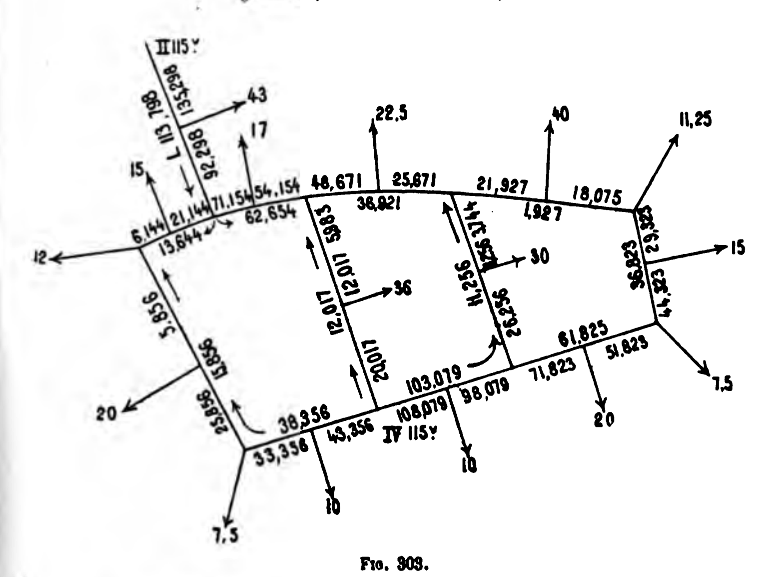


Fig. 303.

Si on avait trouvé une valeur négative, il aurait fallu, pour elle-là, changer le sens du courant correspondant.

Pour avoir la valeur réelle du courant dans chacun des onducteurs, il faut tenir compte des dérivations prises le

long de ce conducteur, ce qui en somme revient à reporter à leur place les composantes de chaque nœud (*fig.* 303). Ainsi, dans le conducteur x, l'intensité calculée a été trouvée de 36,823, elle sera dans la portion de γ au milieu de $\gamma\delta$ de 36,823 + 7,5, soit 44,323, et dans le reste de 36,823 — 7,5 = 29,323. De même pour les autres.

c) On peut faire la vérification par la méthode de Coltri, ou des potentiels, qui consiste à prendre comme inconnue le potentiel aux nœuds, et écrire que la somme des forces électromotrices multipliée par la résistance est égale à la somme des intensités. On a donc dans le cas particulier, en appelant α, β, γ, ..., ρ, les potentiels aux nœuds, et V celui aux feeders (*fig.* 302) :

$$(V - \rho)\ \frac{30 \times 165}{65} + (\alpha - \rho)\ \frac{30 \times 165}{40} + (\nu - \rho)\ \frac{30 \times 35}{25} - 37{,}50 = o,$$

ce qui peut s'écrire :

$$V\ \frac{30 \times 165}{65} + \alpha\ \frac{30 \times 165}{40} + \nu\ \frac{30 \times 35}{25} - \rho\left(\frac{30 \times 165}{65} + \frac{30 \times 165}{40} + \frac{30 \times 35}{25}\right) - 37{,}50 = o\ ; \quad (1)$$

de même pour les autres :

$$\rho\ \frac{30 \times 165}{40} + V\ \frac{19 \times 30}{95} + \beta\ \frac{30 \times 165}{70} - \alpha\left(\frac{30 \times 165}{40} + \frac{19 \times 30}{95} + \frac{30 \times 165}{70}\right) - 37{,}75 = o, \quad (2)$$

$$\beta\ \frac{30 \times 165}{120} + \delta\ \frac{30 \times 165}{40} - \gamma\left(\frac{30 \times 165}{120} + \frac{30 \times 165}{40}\right) - 38{,}75 = o, \quad (3)$$

$$\alpha\frac{30\times 165}{70}+\varepsilon\frac{30\times 22,5}{90}+\gamma\frac{30\times 165}{120}$$
$$-\beta\left(\frac{30\times 165}{70}+\frac{30\times 22,5}{90}+\frac{30\times 165}{120}\right)-46,25=0, \quad (4)$$

$$\gamma\frac{30\times 165}{40}+\varepsilon\frac{30\times 165}{100}$$
$$-\delta\left(\frac{30\times 165}{40}+\frac{30\times 165}{100}\right)-25 \quad =0, \quad (5)$$

$$V\frac{30\times 165}{50}+\beta\frac{22,5\times 30}{90}+\delta\frac{30\times 165}{100}$$
$$-\varepsilon\left(\frac{30\times 165}{100}+\frac{22,5\times 30}{90}+\frac{30\times 165}{50}\right)-30=0, \quad (6)$$

$$V\frac{30\times 61}{50}+\nu\frac{30\times 61}{90}$$
$$-\mu\left(\frac{30\times 61}{50}+\frac{30\times 61}{90}\right)-22,5=0, \quad (7)$$

$$\mu\frac{30\times 61}{90}+\rho\frac{30\times 35}{25}$$
$$-\nu\left(\frac{30\times 61}{90}+\frac{30\times 35}{25}\right)-29,5=0. \quad (8)$$

On obtient ainsi 8 équations pour 8 inconnues. En résolvant ces équations, on obtient pour $\alpha, \beta, \gamma, \rho$, des valeurs voisines de 115 et peu différentes les unes des autres, ce qui complique le calcul. On peut les ramener à celui de leur différence entre elles par l'artifice suivant; ajoutons à (1) l'identité :

$$V\left(\frac{30\times 165}{65}-\frac{30\times 165}{65}\right)+V\left(\frac{30\times 165}{40}-\frac{30\times 165}{40}\right)$$
$$+V\left(\frac{30\times 35}{25}-\frac{30\times 35}{25}\right)=0.$$

Les valeurs $\alpha, \beta, \ldots, \rho$ deviennent simplement la différence le potentiel d'un nœud à l'autre, la valeur V disparaissant,

on aura après simplification :

$$\alpha \frac{30 \times 165}{40} + \nu \frac{30 \times 35}{25} - \rho \left(\frac{30 \times 165}{40} + \frac{30 \times 165}{65} + \frac{30 \times 35}{25} \right) - 37{,}5 = 0.$$

En changeant les signes et faisant la réduction des coefficients, les équations deviennent :

$$-123\rho - 70\beta + 200\alpha - 37{,}75 = 0, \quad (1)$$
$$-70\alpha - 7{,}5\varepsilon - 41\gamma + 118{,}5\beta - 46{,}25 = 0, \quad (2)$$
$$-41\beta - 123\delta + 164\gamma - 38{,}75 = 0, \quad (3)$$
$$-123\gamma - 49{,}5\varepsilon + 172{,}5\delta - 25 = 0, \quad (4)$$
$$-49{,}5\delta - 7{,}5\beta + 156\varepsilon - 30 = 0, \quad (5)$$
$$-20\nu + 56\mu - 22{,}5 = 0, \quad (6)$$
$$-20\mu - 42\rho + 62\nu - 29{,}5 = 0, \quad (7)$$
$$-123\alpha - 42\nu + 241\rho - 37{,}5 = 0. \quad (8)$$

La résolution directe de ces huit équations est assez pénible; on peut y arriver plus simplement par la méthode de Seidel, applicable à une série d'équations linéaires analogues à celles-ci.

Méthode de Seidel. — On remplace les inconnues $\alpha, \beta, \ldots, \rho$ par des valeurs arbitraires se rapprochant autant que possible des valeurs exactes. Dans le cas particulier, on peut prendre pour $\alpha, \beta, \ldots, \rho$ la valeur 2, la différence de potentiel entre deux nœuds étant dans le voisinage de ce chiffre.

Les diverses équations ne sont pas satisfaites, on obtient une série d'erreurs, telles que, par exemple, pour l'équation (1), se reportant à $\alpha = 2$, on a :

$$-123 \times 2 - 70 \times 2 + 200 \times 2 - 37{,}75 = -23{,}75,$$

et ainsi de suite pour les autres. On obtient ainsi un premi groupe d'erreurs initiales indiqué dans le tableau suivan

ERREUR INITIALE	E	R	M	G	A	B	N	D
α — 23,75...		+ 34,06			+ 0,06	+ 23,86		
β — 46,25...	+ 38,225			+ 28,79	+ 40,69	+ 0,04		
γ — 38,75...				— 1,03		+ 12,91		— 12,79
δ — 25......	+ 27,96			— 0,33				— 0,15
ε + 168......	+ 1,08					+ 3,63		+ 3,59
μ + 49,5....			+ 0,22				+ 2,82	
ν — 29,5....		— 9,76	+ 7,84				— 0,22	
ρ + 114,5...		+ 1,23			+ 22,14		+ 27,60	

CORRECTIONS

SUCCESSIVES A FAIRE SUBIR AUX INCONNUES

	α	β	γ	δ	ε	μ	ν	ρ
Valeur initiale	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2
1re fois......	— 0,17	— 0,34	+ 0,23	+ 0,001	— 1,07	0,88	— 0,13	— 0,47
2e fois.......	— 0,18	— 0,13	— 0,07	— 0,04	— 0,04	— 0,07	— 0,07	— 0,11
n^e fois.......	+ 0,0002	+ 0,0012	+ 0,0024	+ 0,0007	+ 0,0001	— 0,0004	+ 0,0014	+ 0,0001
Valeur finale.	+ 1,9821	2,5157	2,5701	2,2744	1,0349	1,0522	1,8209	1,4845

2ᵉ ERREUR	R	A	G	B	D	E	N	M
α + 23,86...	+ 37,39	+ 1,39		+ 10,49				
β + 0,04...		+ 12,64	+ 15,51	+ 0,105		+ 0,405		
γ + 12,91...			+ 1,31	+ 6,74	+ 11,66			
δ — 0,15...			+ 8,46		+ 1,56	+ 3,54		
ε + 3,59...				+ 4,565	+ 6,545	+ 0,305		
μ + 2,82...							+ 4,22	+ 0,30
ν — 0,22...	+ 4,40						+ 0,06	+ 1,46
ρ + 27,60...	+ 1,19	+ 23,33					+ 26,27	

Nᵐᵉ ERREUR	G	B	D	N	A	R	M	C
α + 0,0338..	— 0,14985	— 0,0502			— 0,0102	— 0,0225		
β — 0,05045.	— 0,0132	— 0,00765			— 0,02165			— 0, 0224
γ — 0,4068..	— 0,13165	— 0,0624	— 0,1485					
δ + 0,16355.			— 0,0109					— 0,01585
ε + 0,0219..		— 0,0129	— 0,02175					— 0,00615
μ + 0,0556..				+ 0,0276			— 0,0052	
ν — 0,0878..				— 0,001		— 0,0052	+ 0,0028	
ρ + 0,0477..				— 0,0111	— 0,0357	— 0,0116		

Au moyen de l'une quelconque des équations, celle qui a donné lieu par exemple à l'erreur la plus élevée, ε, on calcule une valeur ε' telle que, multipliée par le coefficient 156 de ε dans (5), elle soit égale à l'erreur précédente ; on aura :

$$156\varepsilon' = -168,$$
$$156\varepsilon' = -168$$

d'où on déduit :

$$\varepsilon' = -\frac{168}{156} = -1{,}07.$$

La nouvelle valeur sert à calculer une nouvelle série d'erreurs E; en partant des précédentes, il suffit de remplacer E dans toutes les équations qui renferment cette inconnue : on aura :

$$E\beta = -46{,}25 + 7{,}5 \times 1{,}07 = -38{,}225,$$
$$E\delta = -25 + 49{,}5 \times 1{,}07 = +27{,}965,$$
$$E\varepsilon = +168 - 156 \times 1{,}07 = +1{,}08.$$

La dernière erreur $E\varepsilon$ devrait être égale à 0; mais il n'est pas nécessaire de calculer le rapport 1,07 avec un grand nombre de décimales, le nombre des erreurs restant à calculer étant encore très élevé. Quant aux autres équations, les erreurs précédentes ne changent pas, c'est comme si le coefficient de $\varepsilon = 0$ dans ces équations. La valeur de ε se trouve modifiée : elle est devenue égale à $2 - 1{,}07 = 0{,}93$; on porte la correction $-1{,}07$ dans un second tableau.

On fait la même opération avec l'erreur la plus grande se rapportant à une nouvelle inconnue, soit ρ; on aura une valeur ρ' telle que

$$\rho' = -\frac{114{,}5}{241} = -0{,}47.$$

Si, au lieu de $+114{,}5$, on avait $-114{,}5$, ou, inversement, si le coefficient 241 était négatif, ρ' serait $+$. Les équations contenant ρ' deviennent :

$$R\rho = +114{,}5 - 241 \times 0{,}47 = +1{,}23,$$
$$R\alpha = -23{,}75 + 123 \times 0{,}47 = +34{,}06,$$
$$R\nu = -29{,}5 + 42 \times 0{,}47 = -9{,}76.$$

On continue ainsi en passant en revue toutes les inconnues pour recommencer ensuite une nouvelle série d'erreurs et ainsi de suite, jusqu'à ce que les erreurs qui convergent vers une même valeur soient devenues assez faibles. L'avantage de cette méthode est de simplifier les opérations. Les fautes de calcul sont sans importance; il suffit à un moment quelconque de remplacer, dans les équations, les valeurs trouvées et de prendre comme point de départ les erreurs ainsi obtenues.

Les résultats du calcul figurés dans le tableau précédent se reportent aux équations indiquées après une dizaine de séries.

Les valeurs finales sont :

$$\alpha = 1,9821 \quad \gamma = 2,5701 \quad \varepsilon = 1,0349 \quad \nu = 1,8209$$
$$\beta = 5,5157 \quad \delta = 2,2744 \quad \mu = 1,0522 \quad \rho = 1,4845$$

Il est facile de déduire le potentiel aux nœuds en remarquant que les valeurs trouvées expriment la différence entre ce potentiel et celui de 115 aux points origines.

La méthode de vérification par les potentiels conduit aux mêmes résultats que celle par le calcul des intensités; il suffit de calculer, avec les potentiels, les intensités, ce qui est facile en appliquant d'une manière générale la formule :

$$i = \frac{s \times e}{\rho 2 l}.$$

On aura pour chaque conducteur, les valeurs e, l, s étant connues :

$$\text{L } 115^{v}\text{-}\rho = 1,4845 \qquad 1,4845\,\frac{165 \times 30}{65} = 113^{a},050,$$

$$\text{L } \rho\text{-}\nu = 0,3364 \qquad 0,3364\,\frac{35 \times 30}{25} = 14^{a},128,$$

$$j\ \mu\text{-}\nu = 0,7687 \qquad 0,7687\,\frac{61 \times 30}{90} = 15^{a},630,$$

$$j\ 115^{v}\text{-}\mu = 1,0522 \qquad 1,0522\,\frac{61 \times 30}{50} = 38^{a},510,$$

$$j\ 115^{v}\text{-}\varepsilon = 1,0349 \qquad 1,0349\,\frac{165 \times 30}{50} = 102^{a},455$$

$$j\ \varepsilon\text{-}\delta = 1{,}2395 \qquad 1{,}2395\ \frac{165 \times 30}{100} = 61^{a}{,}355,$$

$$Q\ \gamma\text{-}\delta = 0{,}2957 \qquad 0{,}2957\ \frac{165 \times 30}{40} = 36^{a}{,}594,$$

$$n\ \beta\text{-}\gamma = 0{,}0544 \qquad 0{,}0544\ \frac{165 \times 30}{120} = 2^{a}{,}244,$$

$$n\ \alpha\text{-}\beta = 0{,}5336 \qquad 0{,}5336\ \frac{165 \times 30}{70} = 37^{a}{,}733,$$

$$n\ \rho\text{-}\alpha = 0{,}4976 \qquad 0{,}4976\ \frac{165 \times 30}{40} = 61^{a}{,}578,$$

$$l\ 115^{\gamma}\text{-}\alpha = 1{,}9821 \qquad 1{,}9821\ \frac{19 \times 30}{95} = 11^{a}{,}892,$$

$$m\ \beta\text{-}\varepsilon = 1{,}4808 \qquad 1{,}4808\ \frac{22{,}5 \times 30}{90} = 11^{a}{,}102.$$

Ces chiffres sont comparables avec ceux de la méthode précédente. Ils prouvent en outre que les dimensions des câbles peuvent être conservées sans modification.

On complète le calcul en changeant la répartition du courant, en supposant par exemple que certains conducteurs sont supprimés ou que les branchements n'existent plus. La manière de procéder reste la même, sauf que les résultats peuvent amener à modifier la section des conducteurs.

270. Calcul des conduits d'alimentation. — On connaît le débit et la longueur de chaque feeder; le calcul de leur section est alors possible, si on fixe la perte de voltage. On peut, pour déterminer cette perte, se baser sur diverses considérations.

a) On peut poser comme condition que la perte d'énergie dans la ligne sera la plus faible possible, c'est-à-dire qu'on déterminera la densité par la règle de Thomson; on a alors :

$$\delta = \frac{1}{s}\sqrt{\frac{\beta b}{\rho\,(cT + \alpha p)}}.$$

Si on prend, d'après des installations existantes :

b, prix du mètre de ligne, $= 2^{fr},50$, soit $2^{fr},50 \times 10^{-2}$ par centimètre ;

β, taux d'amortissement, 8 0/0;

c, prix de revient du watt-heure, 0,0004, soit $0^{fr},40$ le kilowatt-heure;

T, la durée moyenne d'éclairage par an : 3.000 heures;

p, le prix de l'usine par watt-heure produit, soit $2^{fr},50$;

α, taux d'amortissement, 8 0/0; ρ étant égal à 0,0166 = 1/60, on aura :

$$\delta = \sqrt{\frac{0{,}08 \times 2{,}50 \times 10^{-2}}{0{,}0166\,(3.000 \times 0{,}0004 + 0{,}08 \times 25)}} = 0^{a},30 \text{ par mm}^2.$$

La perte de voltage la plus avantageuse sera alors :

$$eI = RI^2 = \frac{2\rho \times L \times I^2}{s} = 2\rho \times L \times \delta \times I,$$

ou

$$e = 2\rho \times L \times \delta = \frac{L}{30} \times 0{,}30.$$

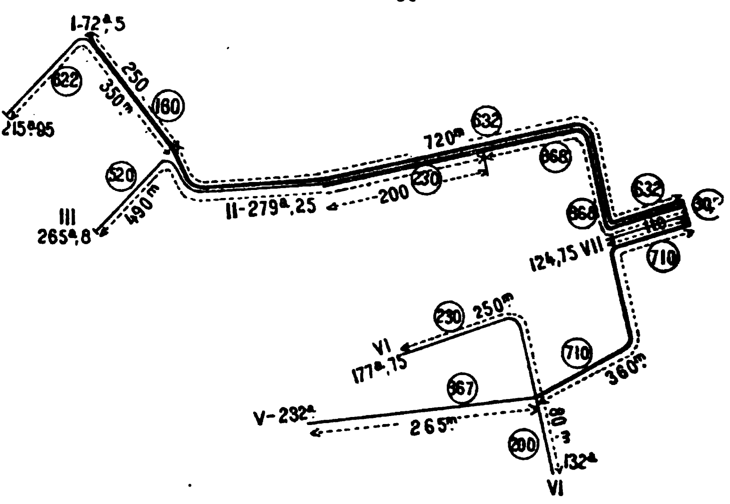


Fig. 304. — Feeders et conduites collectrices.

La longueur L variant avec chacun des feeders *e* serait différente pour chacun d'eux; on prend un feeder moyen, soit le V pour lequel L = 625; on aura $e = 6^{v},25$.

b) On peut fixer, comme on l'a supposé, la perte de voltage égale à 10 volts et faire l'installation avec des conduits collecteurs, qui ont pour avantage de diminuer la différence de voltage entre deux points d'alimentation.

Les feeders O et I (*fig.* 304) seront réunis sur un parcours commun de 720 mètres; ils seront ensuite séparés, formant deux branchements. Pour calculer la section de la conduite collectrice avec le minimum de cuivre, on applique la formule des branchements d'importance égale. Toutefois, on supposera que les 2/3 des appareils sont seuls allumés, c'est-à-dire que l'intensité est les 2/3 de celle calculée précédemment. On aura pour la longueur fictive :

$$L = \sqrt{\frac{72,5 \times \overline{250}^2 + 215,95 \times \overline{350}^2}{288,45}} = 255^m;$$

il en résulte que la perte de voltage e' jusqu'au point de bifurcation est égale par rapport à 10, perte de voltage totale :

$$\frac{e'}{10} = \frac{720}{720 + 255} \quad e' = \frac{7.200}{975} = 7^v,3;$$

on aura donc, pour la section de la conduite collectrice à raison des $\frac{2}{3}$ de l'intensité :

$$s = \frac{2}{3} \times \frac{288,45 \times 720}{30 \times 7,3} = 632^{mm2},$$

et pour les valeurs s_0, s_1 des feeders, le voltage étant devenu $e - e'$:

$$s_0 = \frac{2}{3} \times \frac{215,95 \times 350}{30 \times 2,7} = 622^{mm2}; \; s_1 = \frac{2}{3} \times \frac{72,5 \times 250}{30 \times 2,7} = 160^{mm2}.$$

En faisant le même calcul pour la conduite II-III de longueur égale à 330 :

$$L = \sqrt{\frac{279,25 \times \overline{200}^2 + 265,8 \times \overline{490}^2}{545,05}} = 372,$$

$$\frac{e'}{10} = \frac{330}{330 + 374} \qquad e' = 4^v,60,$$

d'où

$$s = \frac{2}{3} \times \frac{545,05 \times 330}{30 \times 4,6} = 868^{mm^2},$$

et pour les valeurs s_2, s_3 :

$$s_3 = \frac{2}{3} \times \frac{265,8 \times 490}{30 \times 5,4} = 520^{mm^2}; \; s_2 = \frac{2}{3} \times \frac{279,25 \times 200}{30 \times 5,4} = 230^{mm^2}.$$

Enfin, pour la conduite IV-V-VI, on aura :

$$L = \sqrt{\frac{177,75 \times \overline{250}^2 + 232 \times \overline{265}^2 + 132 \times \overline{80}^2}{541,75}} = 228,$$

d'où

$$\frac{e'}{10} = \frac{360}{360 + 228}, \qquad e' = 6^v,10$$

et

$$s = \frac{2}{3} \times \frac{541,75}{30 \times 6,10} = 710^{mm^2}, s_4 = \frac{2}{3} \times \frac{177,75 \times 250}{30 \times 3,9} = 230^{mm^2},$$

$$s_5 = \frac{2}{3} \times \frac{232 \times 265}{30 \times 3,9} = 367^{mm^2}, \quad s_6 = \frac{2}{3} \times \frac{132 \times 80}{30 \times 3,9} = 200^{mm^2}.$$

Le feeder VII se calculera simplement avec $e = 10$:

$$s_7 = \frac{2}{3} \times \frac{124,75 \times 110}{30 \times 10} = 30^{mm^2},5,$$

d'où on déduit le tableau suivant :

FEEDER	INTENSITÉ	LONGUEUR		PERTE DE VOLTAGE		SECTION EN MM²		RÉSISTANCE	
		de la COLLECTRICE	du FEEDER	sur la COLLECTRICE	sur le FEEDER	de la COLLECTRICE	du FEEDER	de la COLLECTRICE	du FEEDER
O	144ª	720ᵐ	350ᵐ	7ᵛ,3	2ᵛ,7	632	622	0,038	0,018
I	49	720	250	7,3	2,7	632	160	»	0,052
II	186	330	200	4,6	5,4	868	230	0,013	0,030
III	177	330	490	4,6	5,4	868	520	»	0,031
IV	118	360	250	6,1	3,9	710	230	0,016	0,035
V	155	360	265	6,1	3,9	710	367	»	0,024
VI	88	360	80	6,1	3,9	710	200	»	0,013
VII	83	»	110	»	10	»	30,5	»	0,120

271. Conduites d'équilibre. — Il convient d'examiner maintenant dans quelles proportions on peut faire varier la charge de deux feeders voisins, sans modifier la tension entre les deux points d'alimentation considérés, au delà d'une certaine limite. Cette vérification se fait au moyen des conduites d'équilibre, qui ne sont autres que les conducteurs les plus courts réunissant ces deux points d'alimentation.

Soit, par exemple, les points III et V (*fig.* 299) dont les feeders sont réunis par B. La résistance de chaque feeder est égale à $r = e : i$; pour celle de B, on remarquera qu'il y a deux sections différentes, on aura :

$$\begin{aligned} \text{III} &= 10 : 177 && = 0{,}05 \\ \text{V} &= 10 : 155 && = 0{,}06 \\ \text{B} &= \frac{1}{30}\left(\frac{71}{61} + \frac{150}{41}\right) && = 0{,}175 \\ \text{Résistance totale} \ldots\ldots\ldots \quad \text{R} & && = 0{,}285 \end{aligned}$$

La perte de tension admise entre deux feeders a été de 3 volts, mais on verra qu'avec 2 volts la variation de charge est suffisante. La différence de voltage e' entre les deux points sera donc égale à :

$$e' = \frac{2\text{R}}{r} = \frac{2 \times 0{,}285}{0{,}175} = 3{,}2.$$

Si 10 volts est la perte de charge par feeder, K_3 le coefficient de charge de III et K_5 celui de V, on aura :

$$K_3 - K_5 = \frac{3{,}2}{10} = 0{,}32, \text{ soit } 32 \text{ 0/0}.$$

S'il s'agissait de deux feeders alimentés par la même conduite collectrice, au lieu de 10 il faudrait diviser par 10 moins le voltage absorbé par cette conduite, ce qui explique le rôle de cette dernière.

On peut vérifier que la variation de 32 0/0 n'est pas exagérée ; soit, par exemple, $K_3 = 1$ et $K_5 = 0{,}68$, la différence $K_3 - K_5 = 0{,}32$; on a :

$$K_3 I_3 = 177 \quad \text{et} \quad K_5 I_5 = 155 \times 0{,}68 = 105{,}40.$$

Le courant allant de I_5 vers I_3 est égal à $\frac{2}{0{,}175}$, 2 étant la variation de voltage admise, et 0,175 la résistance :

$$I_5 - I_3 = \frac{2}{0{,}175} = 12\,;$$

par suite le courant de III sera diminué de 12 et celui de V augmenté de 12, on aura :

$$e = (177 - 12)\,0{,}050 - (105{,}40 + 0{,}12)\,0{,}06 = 1^{v}{,}206.$$

Avec les autres feeders, on arriverait à des résultats identiques sinon plus concluants.

272. Rhéostats. — Pour maintenir la tension constante à l'extrémité des feeders, il est nécessaire de monter à l'usine, sur chacun d'eux, une résistance auxiliaire. Cette résistance devrait pouvoir permettre toutes les variations de débit, mais on peut diminuer son importance en remarquant qu'on peut supprimer plusieurs feeders lorsque la consommation descend suffisamment bas. Du reste, quand la tension baisse d'une manière importante sur certains feeders, elle descend également, dans des proportions moindres, mais certaines, sur les autres, et on peut diminuer l'excitation de la machine. En se basant sur ces considérations, une variation de 5 volts obtenue par le rhéostat paraît suffisante. Ce qui vient d'être dit pour les feeders s'applique à plus forte raison aux conduites collectrices.

Il convient d'abord de déterminer la perte de voltage correspondant à chaque débit ; on a le tableau suivant qui donne la perte de voltage d'après les réductions de consommation.

DÉBIT	PERTE DE VOLTAGE dans LE FEEDER	DANS LE RHÉOSTAT partielle	totale	DÉBIT	PERTE DE VOLTAGE dans LE FEEDER	DANS LE RHÉOSTAT partielle	totale
	O-I				VII		
193ᵃ	10ᵛ	0	0	83ᵃ	10ᵛ	0	0
170	8,80	1,20	1,20	70	8,40	1,60	1,60
150	7,80	1,00	2,20	60	7,20	1,20	2,80
130	6,80	1,00	3,20	50	6,00	1,20	3,00
110	5,75	1,05	4,25	40	4,80	1,20	5,20
90	4,70	1,05	5,30				
	IV-V-VI				II-III		
361	10	0	0	363	10	0	0
350	9,60	0,40	0,40	350	9,60	0,40	0,40
330	9	0,50	0,90	330	9,10	0,50	0,90
310	8,50	0,55	1,45	310	8,50	0,55	1,55
290	8	0,55	2	290	8	0,55	2
270	7,45	0,55	2,55	270	7,45	0,55	2,55
250	6,90	0,55	3,10	250	6,90	0,55	3,10
230	6,35	0,55	3,65	230	6,35	0.55	3,65
210	5,80	0,55	4,20	210	5,80	0,55	4,20
190	5,25	0,55	4,75	190	5,25	0,55	4,75
170	4,70	0,55	5,30	170	4,70	0,55	5,30

Connaissant la perte de voltage successive dans chaque partie du rhéostat et l'intensité du courant, il devient possible dès lors de déterminer les dimensions de ce rhéostat. Le diamètre de la section se détermine par la formule :

$$I = Kd\sqrt{d},$$

dans laquelle, si le rhéostat est en cuivre, $K = 8$ à 10; le diamètre correspondant aux différentes valeurs de I doit être alors :

d	I	*d*	I	*d*	I
4ᵐᵐ	80ᵃ	7ᵐᵐ	182ᵃ	10ᵐᵐ	310ᵃ
5ᵐᵐ	120	8ᵐᵐ	224	11ᵐᵐ	341
6ᵐᵐ	144	9ᵐᵐ	270	12ᵐᵐ	384

Si, au lieu du cuivre, on employait du fer ou du maillechort, la valeur du diamètre deviendrait :

$$d' = d\sqrt{\frac{\rho'}{\rho}} = 2d$$

approximativement, ρ et ρ' étant la résistance spécifique du cuivre et du fer. Le tableau suivant donne, pour les diamètres considérés, la résistance par mètre ou la longueur par ohm à des températures de 40 à 50°.

	DIAMÈTRE EN MILLIMÈTRES	SECTION	L PAR OHM	OHMS PAR MÈTRE
Cuivre $\rho = 0,02$	4	12,566	610	0,0015
	5	19,635	950	0,0010
	6	28,274	1.600	0,0007
	7	36,485	1.860	0,0005
	8	50,265	2.513	0,0004
	9	63,617	3.180	0,0003
	10	78,540	3.927	0,0002
	11	95,033	4.251	0,0002
Fer $\rho = 0,12$	8	50,265	419	0,0023
	10	78,540	654	0,0015
	12	113,097	942	0,0010
	14	153,938	1.282	0,0008
	16	201,060	1.675	0,0006
	18	254,470	2.120	0,0005
	20	314,160	2.618	0,0004
	22	380,130	3.168	0,0003

En se basant sur l'une ou l'autre donnée : nombre de mètres par ohm ou nombre de ohms par mètre, il est facile d'en déduire la longueur du rhéostat correspondant, d'où le tableau suivant :

DIAMÈTRE	INTENSITÉ	RÉSISTANCE-LONGUEUR O-I		RÉSISTANCE-LONGUEUR II-III		RÉSISTANCE-LONGUEUR IV-V-VI		RÉSISTANCE-LONGUEUR VII	
11mm	350a			0,0011	5m,50	0,0011	5m,5		
—	330			0,0016	8	0,0016	8		
10	310			0,0016	8	0,0016	8		
—	290			0,0017	8 ,10	0,0017	8 ,10		
9	270			0,0020	6 ,60	0,0020	6 ,60		
—	250			0,0022	7 ,00	0,0022	7 ,00		
8	230			0,0024	6	0,0024	6		
—	210			0,0026	6 ,50	0,0026	6 ,50		
7	190			0,0029	5 ,80	0,0029	5 ,80		
—	170	0,007	14m,00	0,0032	6 ,40	0,0032	6 ,40		
6	150	0,007	10 ,00						
—	130	0,008	11 ,00						
5	110	0,009	9 ,00						
—	90	0,011	11 ,00						
4	70							0,020	13m
—	60							0,022	14
—	50							0,024	16
—	40							0,030	20

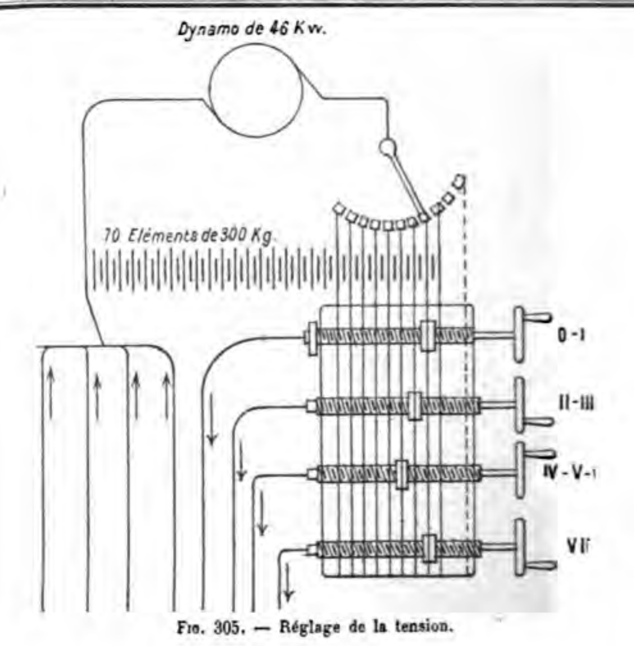


FIG. 305. — Réglage de la tension.

Le calcul serait identique avec du fer. Quant à la forme du rhéostat, on peut la choisir quelconque et s'il y a lieu de faire les fortes sections en plusieurs fils tordus ensemble.

Dans le cas où l'on emploie des accumulateurs, les rhéostats de réglage deviennent inutiles. Il suffit, au moyen d'un commutateur ou additeur (*fig.* 305), d'intercaler un nombre plus ou moins grand d'éléments suivant la tension à obtenir aux points d'alimentation.

Cette dernière est donnée au moyen de fils pilotes correspondant à un voltmètre.

273. Lampes à arc pour l'éclairage public. — L'éclairage des grandes rues et places sera fait au moyen de lampes à arc de 10/12 ampères, dont il convient de déterminer le nombre; pour cela, nous allons calculer leur puissance d'éclairement dans des conditions variables, ce qui revient en somme à faire une application des règles photométriques précédentes.

Intensité sphérique moyenne. — Soit à déterminer l'intensité

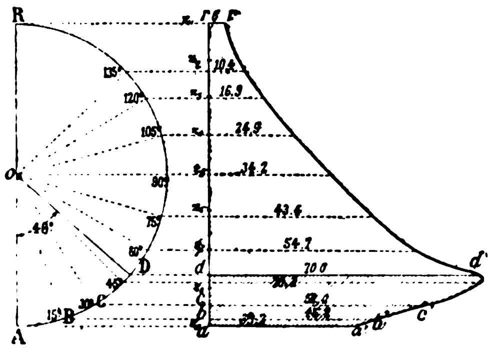


Fig. 306. — Intensité sphérique moyenne.

sphérique moyenne de cette lampe placée sous globe opalin; on connaît, d'après des mesures directes, l'intensité lumineuse sous différents angles.

	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	180°
I	39,2	45,2	58,0	70,3	54,7	43,4	34,2	24,9	16,9	10,4	6

Pour avoir l'intensité sphérique moyenne, avec un rayon égal à l'unité, on décrit un demi-cercle (*fig.* 306) et, aux différents points A, B, C, D, correspondant aux angles 0°, 15°, 30°, etc., on mène les lignes A*a*, B*b*, C*c*. Il suffira, sur la ligne des abscisses, d'élever des ordonnées *aa'*, *bb'*, *cc'*, etc., égales aux valeurs I_α sous différents angles (échelle ordinaire, 5 millimètres pour 1 carcel). En réunissant les points *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, on obtient une courbe dont l'ordonnée moyenne mesure l'intensité sphérique moyenne. Déterminons la surface limitée par cette courbe, en divisant la longueur *ar* en huit parties égales et menant les ordonnées correspondantes; d'après la méthode de Simpson, si z_1, z_9 sont les ordonnées extrêmes et *d* l'intervalle qui sépare deux ordonnées, on aura :

$$S = I_s \times 8d = \frac{d}{3}\left[z_1 + z_9 + 4(z_2 + z_4 + z_6 + z_8) + 2(z_3 + z_5 + z_7)\right].$$

En remplaçant z_1, ..., z_9 par leur valeur, on obtient :

$$I_s = \frac{1}{24}\left[(6+39,2)+4(8+24,9+42,5+70)+2(16,8+34,2+54,7)\right] = 34^c,91.$$

On aurait pu calculer directement cette intensité. On a vu que I_s :

$$I_s = \frac{I_h}{2} + \frac{I_m}{4},$$

I_h étant l'intensité horizontale, et I_m l'intensité maxima; dans le cas particulier, on a :

$$I_s = \frac{34,2}{2} + \frac{70,3}{4} = 34^c,7.$$

La différence est insignifiante. On peut calculer de la même façon l'intensité hémisphérique inférieure. La méth graphique donne, pour l'hémisphère inférieur, 52°, pour l'hémisphère supérieur, 17. Le calcul aurait donné

Hémisphère supérieur : $\frac{I_h}{2} = \frac{34,2}{2} = 17$;

Hémisphère inférieur : $\frac{I_h + I_m}{2} = 52.$

On voit que les résultats sont identiques.

Éclairement. — On peut se proposer de déterminer la hauteur du candélabre qui nous donnera la meilleure répartition de lumière. Pour cela, nous allons considérer trois

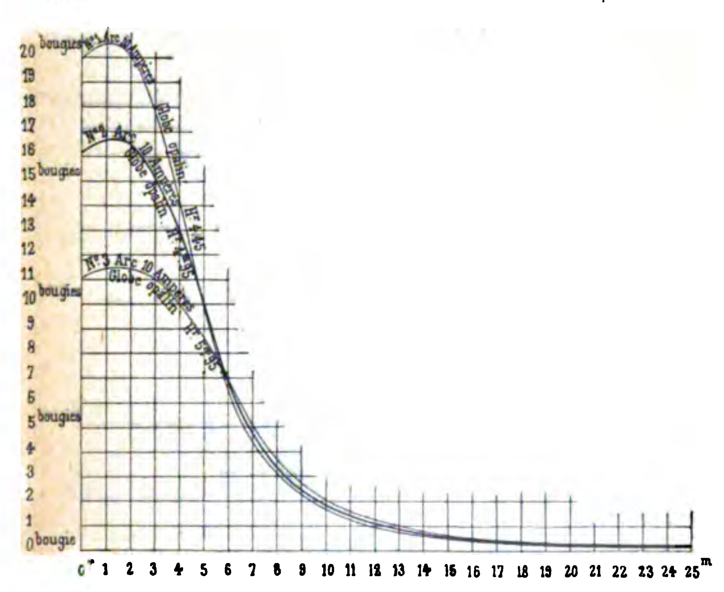


Fig. 307. — Courbes d'éclairement dans le cas de hauteurs différentes.

hauteurs très usitées, $4^m,45$, $4^m,95$ et $5^m,95$. Les courbes d'éclairement correspondantes sont indiquées sur la figure 307. Comme on le voit, elles sont très différentes les unes des autres; celle de 5,95 donne la répartition de lumière la plus uniforme. Ce chiffre correspond à l'éclairement moyen le moins élevé, comme il va être démontré par la suite.

Le calcul de l'éclairement moyen pourrait porter sur des

surfaces plus ou moins étendues; nous nous arrêterons aux cercles qui correspondent à un éclairement minimum de $0^{l},28$, le même pour les trois hauteurs. On a alors pour R :

$$h_1 = 4,45 \qquad R_1 = 19,50$$
$$h_2 = 4,95 \qquad R_2 = 20,00$$
$$h_3 = 5,95 \qquad R_3 = 21,00$$

Éclairement moyen. — Le calcul de cet éclairement va être essayé au moyen de trois méthodes indiquées dans la partie théorique :

1° Considérons les cercles isolux ou d'égal éclairement espacés de deux en deux bougies; dans la formule générale qui donne l'éclairement moyen, nous aurons, pour le cas particulier $h_3 = 5,95$:

$$e' = 11,50 - 11 = 0,50, \quad e = 2, \quad e'' = 1 - 0,28 = 0,72, \quad e_0 = 0,28$$
$$s_1 = 3, \quad s_2 = 4,75, \quad s_3 = 6, \quad s_4 = 7, \quad s_5 = 8,7, \quad s_6 = 13, \quad S = 21.$$

On a pour la valeur de E_3m :

$$\overline{21}^2 E_3m = \frac{0,50 \times \overline{3}^2}{2} + 2\left(\frac{\overline{3}^2}{2} + \overline{4,75}^2 + \overline{6}^2 + \overline{7}^2 + \overline{8,7}^2 + \frac{\overline{13}^2}{2}\right) + 0,72\left(\frac{\overline{13}^2 + \overline{21}^2}{2}\right) + 0,28 \times \overline{21}^2,$$

d'où :

$$Em = \frac{889,83}{441} = 2,00.$$

En faisant un calcul analogue pour les deux autres valeurs de h, on aurait :

$$h_1 = 4,45 \qquad E_1m = 2^{lux},74$$
$$h_2 = 4,95 \qquad E_2m = 2,10$$
$$h_3 = 5,95 \qquad E_3m = 2,00$$

2° Prenons maintenant la formule :

$$Em = \frac{2Is\,(1 - \cos\alpha)}{R^2};$$

et faisons le calcul pour :

$$R_2 = 20, \qquad h_2 = 4,95;$$

on aura :

$$\text{tang}\,\alpha_2 = \frac{20}{4,95} = 4,00, \quad \alpha_2 = 76^\circ, \quad \cos\alpha_2 = 0,242, \quad Is = 520.$$

On aura donc :

$$Em_2 = \frac{2 \times 520 \times 0,788}{400} = 1^{lux},97.$$

Le calcul serait identique pour les autres valeurs de h; on aurait alors :

$$h_1 = 4,45 \quad \alpha_1 = 77^\circ,10 \quad \cos\alpha_1 = 0,222 \quad Em_1 = 2,12$$
$$h_2 = 4,95 \quad \alpha_2 = 76,00 \quad \cos\alpha_2 = 0,242 \quad Em_2 = 1,97$$
$$h_3 = 5,95 \quad \alpha_3 = 74,10 \quad \cos\alpha_3 = 0,173 \quad Em_3 = 1,71$$

3° Par la méthode de M. Blondel, au moyen du flux utile non plus dans le cas d'un cercle, mais dans celui d'un espace rectangulaire. Faisons le calcul pour $h_1 = 4,45$; la largeur de la rue étant de 10 mètres, le cône correspondant à un rayon de 5 mètres aura comme angle au sommet :

$$\text{tg}\,\alpha_1 = \frac{5}{4,45} = 1,124, \qquad \alpha_1 = 48^\circ,20.$$

Il faut calculer l'intensité correspondant à cet angle. La valeur de $I\alpha$ est égale à l'ordonnée moyenne de la surface $ada'd'$, c'est-à-dire, d'après la méthode de Simpson, à 550 bougies (*fig.* 306). Pour avoir le flux Φ, il suffira de multiplier cette intensité par la surface de la zone correspondante. On a donc :

$$\Phi = 2\pi h I\alpha = 2\pi I\alpha\,(1 - \cos\alpha)$$
$$= 2 \times 3,14 \times 550\,(1 - 665) = 1.157 \text{ lumens},$$

soit, pour la moitié, 578,50.

L'éclairement produit par un foyer étant limité à 21 mètres, nous diviserons l'intervalle entre le cône primitif et cette limite en deux zones ayant (*fig.* 308) des longueurs respectives de 5 et 11 mètres. La surface *s* de la première zone sera égale à l'arc de cercle MM $\times$ *d* (*d*, longueur d'une zone). Pour la longueur MM, on a :

$$l = \frac{2\pi R n}{360} = \frac{2 \times 3{,}14 \times 7{,}50 \times 83}{360} = 10^{m},81.$$

La surface *s* est égale à $10{,}81 \times 5 = 54^{m^2},40$. L'éclairement moyen, d'après la courbe 307, est de 4 bougies; on en déduit Φ_1 :

$$\Phi_1 = 54{,}40 \times 4 = 217^{lux},6.$$

On procéderait de même pour la deuxième zone. Les résultats du calcul sont groupés dans le tableau ci-dessous :

	d	*a*	*r*	*l*	*s*	*e*	Φ
Zone intérieure..........							378,50
1re zone........	5	83°	7.5	10,81	54.40	4	217,60
2e zone........	11	38	15.5	10.27	112.97	0,50	56,48
							852,58

La surface éclairée étant égale à l'intervalle entre deux

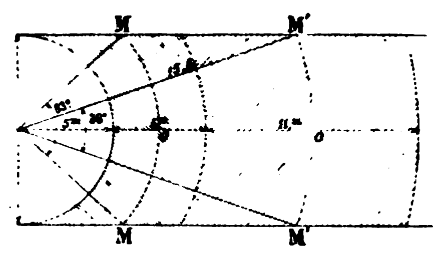


Fig. 308. — Calcul du flux utile.

foyers, multiplié par sa largeur, c'est-à-dire à $10 \times 21 = 210$ on aura pour l'éclairement moyen :

$$Em_1 = \frac{852{,}58}{210} = 4^{lux},08.$$

On opérerait de même pour les autres hauteurs; on a comme résultats pour :

$$h_1 = 4,45 \qquad Em_1 = 4,08$$
$$h_2 = 4,95 \qquad Em_2 = 3,50$$
$$h_3 = 5,95 \qquad Em_3 = 3,10$$

Les résultats sont plus élevés que les précédents, mais plus exacts, car il convient de remarquer que la méthode est plus précise; on applique en effet à chaque surface non plus l'intensité lumineuse moyenne, mais une intensité plus approchée.

On aurait pu, pour la zone intérieure, prendre l'éclairement moyen correspondant à un rayon de 5 mètres, c'est-à-dire lui appliquer le procédé employé pour les autres zones; les résultats seraient sensiblement les mêmes.

Il est facile de comparer les trois méthodes, qui donnent des résultats sinon égaux, tout au moins concordants; on a :

	1re méthode	2e méthode	3e méthode
$h_1 = 4,45$	$2^l,74$	$2^l,12$	$4^l,08$
$h_2 = 4,95$	2 ,10	1 ,97	3 ,50
$h_3 = 5,95$	2 ,00	1 ,71	3 ,10

Nous adopterons la hauteur de 5,95, qui, bien que donnant l'éclairement moyen le plus faible, permet d'obtenir une lumière plus uniforme. Avec des candélabres espacés de 42 mètres on aura un éclairement moyen compris entre 3 et 4 lux, et un éclairement minimum égal à $2 \times 0,28 = 0^l,56$, chiffres très acceptables.

Répartition des foyers de 10 ampères. — Nous avons dit qu'on emploierait les lampes à arc de 10 ampères sur les places publiques et les rues principales. Le rayon d'éclairement étant de 21 mètres, la surface est de :

$$\pi R^2 = 3,14 \times 441 = 1.384 \text{ mètres carrés,}$$

soit une intensité de 1.384 : 347 = 4 bougies par mètre carré pour une lampe seule.

Pour les places publiques nous compterons autant de foyers que le nombre 1.384 sera contenu de fois dans la surface de la place. Pour les rues, il en faudra, en les espaçant de 42 à 45 mètres, un nombre égal au quotient de la longueur de la rue par 42 ou 45. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après :

RUES ou PLACES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE DE LAMPES	
			Calculé	Réel
	mètres	mètres		
L	»	8.100	6	6
M	»	9.000	7	7
N	»	1.875	2	2
O	»	1.000	1	2
P	»	1.500	2	2
Q	»	2.125	2	2
A	180	2.250	4	4
B	365	4.020	8	9
C	265	2.000	6	6
D	225	1.370	5	6
E	350	3.500	8	7
			TOTAL	53

Lampes à arc de 5 ampères. — Pour les autres rues, nous adopterons les lampes à arc de 5 ampères, bien préférables aux lampes à incandescence qu'il faudrait en nombre trop considérable pour obtenir un éclairement suffisant. L'intensité sphérique moyenne étant de 300 bougies, en les espaçant de 50 mètres environ, soit 25 de rayon pour chaque foyer, d'après les méthodes précédentes, on trouverait 0^{lux} comme éclairement moyen et $0^{lux},15$ comme éclairem minimum. Dès lors, en adoptant ces chiffres, le nombre foyers est indiqué dans le tableau suivant.

RUES	LONGUEUR	NOMBRE DE FOYERS	RUES	LONGUEUR	NOMBRE DE FOYERS
				Report...	61
	mètres			mètres	
a	90	2	*m*	100	1
b	500	9	*n*	230	4
c	180	2	*o*	240	4
d	130	2	*p*	110	2
e	180	4	*q*	400	6
f	300	6	*r*	135	3
g	440	9	*s*	175	3
h	560	11	*t*	185	4
i	415	8	*u*	275	4
j	290	6	*v*	260	4
k	80	1	*x*	190	5
l	95	1	*y*	300	4
	A reporter....	61		TOTAL....	105

Le calcul des autres éléments intéressant l'installation : montage des appareils, dépenses d'exploitation, etc., ne présenterait aucune difficulté.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

ÉCLAIRAGE A L'HUILE VÉGÉTALE

§ 1. — Fabrication

§ 2. — Lampes à huile

CHAPITRE II

TRAITEMENT DES HUILES MINÉRALES

§ 1. — Exploitation des gisements

§ 2. — Raffinage de l'huile minérale

§ 3. — Huiles de schiste et de lignite

CHAPITRE III

ÉCLAIRAGE AUX HUILES MINÉRALES

§ 1. — Eclairage à l'essence

A. — Lampes a mèche

B. — Lampes auto-incandescentes et a manchons

§ 2. — Éclairage au pétrole

A. — Lampes a mèches

B. — Lampes a manchons incandescents

§ 3. — Éclairage aux huiles lourdes

CHAPITRE IV

ÉCLAIRAGE A L'ALCOOL

CHAPITRE V

GAZ DE HOUILLE

§ 1. — Fabrication du gaz

§ 2. — Distillation

§ 3. — Sous-produits

CHAPITRE VI

DISTRIBUTION DU GAZ

CHAPITRE VII

BRULEURS

§ 1. — Brûleurs à air libre

§ 2. — **Brûleurs à air chaud**

§ 3. — **Généralités sur l'incandescence**

§ 4. — **Brûleurs à incandescence**

A. — Bruleurs ordinaires

B. — Bruleurs intensifs

C. — Foyers intensifs a gaz ou a air a haute pression

§ 5. — Brûleurs à gaz carburé

CHAPITRE VIII

GAZ SPÉCIAUX

§ 1. — Acétylène

§ 2. — Gaz riche

§ 3. — Gaz de bois et de tourbe

§ 4. — Gaz à l'eau

§ 5. — Gaz à l'air

CHAPITRE IX

ÉCLAIRAGE PRIVÉ. — ÉCLAIRAGE PUBLIC

§ 1. — Éclairage privé

§ 2. — Éclairage public

§ 3. — Allumage des foyers

§ 4. — Appareils de réglage

CHAPITRE X

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE PAR ARC VOLTAÏQUE

§ 1. — Propriétés de l'arc voltaïque

§ 2. — **Régulateurs en série ou à intensité constante**

§ 3. — **Régulateurs en dérivation ou à potentiel constant**

§ 4. — **Régulateurs différentiels ou à résistance constante**

§ 5. — **Lampes à arc en vase clos**

§ 6. — **Lampes à courants alternatifs**

§ 7. — **Montage et organes des lampes**

CHAPITRE XI

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE PAR INCANDESCENCE

§ 1. — Filaments en carbone

§ 2. — Lampes à incandescence à substances diverses

CHAPITRE XII

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

§ 1. — Calcul des conducteurs

§ 2. — Distribution du courant

§ 3. — Appareils complémentaires

§ 4. — Montage des appareils d'éclairage

CHAPITRE XIII

PHOTOMÉTRIE

§ 1. — Propriétés des foyers lumineux. — Mesures

§ 2. — Utilisation de la lumière

§ 3. — Quantité de lumière

CHAPITRE XIV

PROJETS D'ÉCLAIRAGE

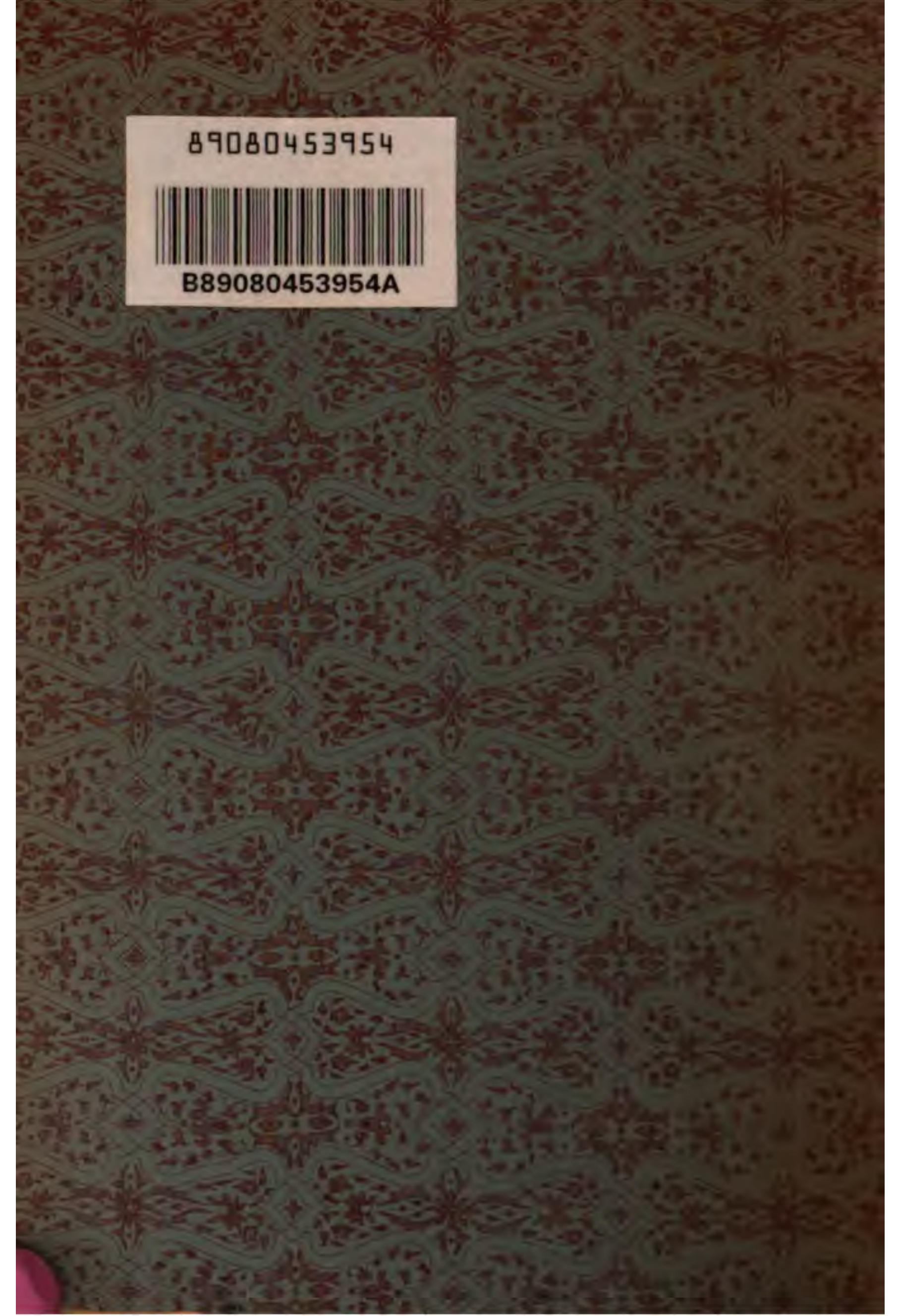
§ 1. — Gaz

§ 2. — Electricité

TOURS

IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

6, RUE GAMBETTA, 6


89080453954
B89080453954A